

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

**“MEJORAMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y
MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO, MEDIANTE LA
ADICIÓN DE PORCENTAJES DE ASFIER 211 Y 240 EN EL AGUA DE
PRE-ENVUELTA”**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL**

QUIROLA PACHECO DANIELA PATRICIA

REINOSO BUSTAMANTE MARÍA FERNANDA

DIRECTOR: ING. GUSTAVO YANEZ

Quito, noviembre 2017

Índice de Contenidos

CAPÍTULO I: Generalidades	- 8 -
1.1 Antecedentes	- 8 -
1.2 Antecedentes	- 9 -
1.3 Justificación.....	- 10 -
1.4 Alcance.....	- 11 -
1.5 Objetivo General	- 11 -
CAPÍTULO II: DEFINICIÓN DE LOS MATERIALES.....	- 12 -
2.1 Materiales	- 12 -
2.1.1 Asfalto	- 12 -
2.1.1.1 Química.....	- 13 -
2.1.1.2 Origen.....	- 14 -
2.1.1.3 Clasificación.....	- 14 -
2.1.1.4 Propiedades Físicas del asfalto.....	- 18 -
2.1.1.5 Pruebas para determinar las propiedades del cemento asfáltico	- 18 -
2.1.1.6 Desventajas:.....	- 19 -
2.1.2 Agregados	- 20 -
2.1.3 Emulsiones asfálticas	- 22 -
2.1.3.1 Propiedades de las emulsiones asfálticas.....	- 23 -
2.1.3.2. Clasificación de las emulsiones asfáltica	- 25 -
2.1.3.3 Componentes de la emulsión	- 29 -
2.1.3.4 Elaboración y estabilidad al almacenamiento de la emulsión	- 31 -
2.1.3.4 Usos generales de la emulsión	- 33 -
2.1.3.5 Estabilidad de la emulsión ante los agregados pétreos	- 33 -
2.1.3.6 Características reológicas del residuo	- 34 -

2.2 Definiciones generales	- 34 -
2.2.1 Mezclas con emulsiones asfálticas.....	- 34 -
2.2.2 Mezclas con emulsiones asfálticas y adición de asfier 211 y asfier 240	- 37 -
2.3 Asfier	- 40 -
2.3.1 Concepto	- 40 -
2.3.1.1 Características del asfier 211	- 40 -
2.3.1.2 Características del asfier 240	- 41 -
2.4 Descripción de las mezclas asfálticas.....	- 42 -
2.4.1 Mezclas con emulsiones asfálticas.....	- 42 -
2.4.2 Diseño de la mezcla	- 43 -
 CAPÍTULO III: ENSAYOS A LOS MATERIALES	- 44 -
3.1 Descripción de los ensayos.....	- 45 -
3.1.1 Obtención de los agregados Holcim.....	- 45 -
3.2 Ensayos y características de los materiales granulares	- 46 -
3.2.1 Granulometría.....	- 46 -
3.2.2 Contenido de humedad natural de los agregados	- 49 -
3.2.3 Desgaste de los agregados gruesos en la máquina de los Ángeles	- 49 -
3.2.4 Gravedad específica de los agregados	- 50 -
3.2.5 Durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos	- 51 -
3.2.6 Contenido orgánico de la arena	- 52 -
3.2.7 Equivalente de arena	- 52 -
3.3 Ensayos a los materiales bituminosos	- 54 -
3.3.1 Ensayos a la emulsión	- 54 -
3.3.1.1 Carga de partícula	- 54 -
3.3.1.2 Estabilidad por medio del tamizado	- 55 -
3.3.1.3 Viscosidad	- 56 -
3.3.1.4 Residuo por evaporación	- 57 -
3.3.1.5 Estabilidad a las 24 horas.....	- 58 -
3.3.1.6 Ensayo de asentamiento.....	- 58 -

3.3.2 Pruebas del residuo.....	- 59 -
3.3.2.1 Ensayo de penetración.....	- 59 -
3.3.2.2 Ductilidad.....	- 60 -

**CAPITULO IV: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS CON EL MÉTODO MARSHALL MODIFICADO.....-
61 -**

4.1 Introducción	- 61 -
4.1.1 Determinación de la gravedad específica	- 62 -
4.1.2 Prueba de estabilidad y flujo.....	- 62 -
4.1.3 Análisis de densidad y vacíos	- 63 -
4.2 Diseño de mezclas asfálticas con emulsión.....	- 65 -
4.2.1 Determinación del porcentaje de agua de mezclado o pre-envuelta	- 66 -
4.2.2 Cálculo del porcentaje óptimo teórico de emulsión en una mezcla	- 66 -
4.2.3 Elaboración de los especímenes	- 68 -
4.2.4 Prueba de estabilidad Marshall	- 70 -
4.2.5 Cálculo teórico del porcentaje óptimo de emulsión asfáltica	- 71 -
4.2.6 Cálculo práctico de la cantidad de emulsión asfáltica	- 72 -
4.2.7 Ensayo Marshall de la mezcla en frío con el porcentaje óptimo de la emulsión asfáltica	- 73 -
4.3 Diseño de la mezcla en frío con 1%, 3% y 5% de adición de asfier 211 .-	75
4.3.1 Determinación del agua de pre-envuelta.....	- 75 -
4.3.2 Ensayo Marshall de las mezclas con asfier 211	- 76 -
4.4 Diseño de la mezcla en frío con 1%, 3%, 5% de adición de asfier 240	- 77 -
4.4.1 Determinación del agua de pre-envuelta.....	- 77 -
4.4.2 Ensayo Marshall de las mezclas con emulsión 240	- 79 -
4.5 Cuadro comparativo de resultados de las mezclas	- 80 -

CAPITULO V: EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ÓPTIMA - 80 -

5.1 Introducción	81 -
5.2 Ensayo de Marshall Modificado	81 -
5.3 Ensayo de peladura por el Método del Hervido	82 -
5.4 Diseño de la mezcla en frío con porcentaje óptimo de asfier 211.....	84 -
5.4.1 Ensayo Marshall de la mezcla en frío con 4% de adición de asfier 211.....	85 -
5.4.2 Ensayo de peladura de la mezcla con porcentaje óptimo de asfier 211.....	86 -
5.5 Diseño de la mezcla en frío con porcentaje óptimo de asfier 240.....	88 -
5.5.1 Ensayo Marshall de la mezcla en frío con 5% de adición de asfier 240.....	90 -
5.5.2 Ensayo de peladura de la mezcla en frío con porcentaje óptimo de asfier 240 -	92 -
5.6 Pruebas de almacenamiento a las 4 semanas (estabilidad y flujo)	93 -
5.6.1 Prueba de almacenamiento mezcla en frío óptima 211 y 240, primera semana.	94 -
5.6.2 Prueba de almacenamiento mezcla en frío óptima 211 y 240, segunda semana.	96 -
5.6.3 Prueba de almacenamiento mezcla en frío óptima 211 y 240, tercera semana. -	98 -
5.6.4 Prueba de almacenamiento mezcla en frío óptima 211 y 240, cuarta semana.. -	100 -

**CAPITULO VI: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE COSTOS
COMPARATIVOS ENTRE MEZCLAS EN FRIO Y MEZCLAS EN
FRIO CON LA UTILIZACIÓN DE ASFIER 211 Y 240..... - 102 -**

6.1 Análisis comparativo entre mezclas en frío y mezclas en frío con la utilización de asfier 240 y 211	102 -
6.2 Análisis de costos de mezclas en frio.....	103 -
6.2.1 Análisis de costos unitarios de mezcla asfáltica en frio con asfier 211	104 -

CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... - 106 -

7.1 Conclusiones	- 106 -
7.2 Recomendaciones	- 112 -
Bibliografía	- 113 -
Anexos	- 115 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 : Clasificación del asfalto según su penetración	- 15 -
Tabla 2. 2 Clasificación del asfalto según su viscosidad	- 16 -
Tabla 2. 3: Clasificación del asfalto según su Viscosidad envejecida.	- 17 -
Tabla 2. 4 Nomenclatura de las emulsiones.....	- 26 -
Tabla 2. 5 Tipos de emulsiones catiónicas.....	- 27 -
Tabla 2. 6 Tipos de emulsiones aniónicas.....	- 28 -
Tabla 2. 7:Espesor de capa aproximado según actividad.....	- 35 -
Tabla 2. 8: Composición de la mezcla con emulsión 211	- 38 -
Tabla 2. 9: Composición de la mezcla con emulsión 240.....	- 39 -
Tabla 2. 10: Composición en peso de la emulsión 211	- 41 -
Tabla 2. 11: Composición en peso de la emulsión 240.....	- 42 -
Tabla 3. 1: Granulometría para mezcla en frío mezclado en planta.....	- 48 -
Tabla 3. 2: Agregados para mezclas con emulsión de granulometría cerrada	- 49 -
Tabla 3. 3: Valores mínimos del ensayo equivalente de arena.	- 53 -
Tabla 4. 1: Resultados de ensayo Marshall.....	- 73 -
Tabla 4. 2: Ensayo de Briquetas con emulsión óptima.	- 74 -
Tabla 4. 3: Cantidad de asfíer y agua colocado en la mezcla asfáltica con emulsión 211 -	- 76 -
Tabla 4. 4: Diseño de las mezclas asfálticas con asfíer 211.....	- 76 -
Tabla 4. : Cantidad de asfíer y agua colocado en la mezcla asfáltica con emulsión 240...	- 78 -
Tabla 4. 6: Diseño de las mezclas asfálticas con asfíer 240.....	- 79 -
Tabla 4. 7: Cuadro comparativo entre mezclas con diferente emulsión	- 80 -
Tabla 5. 1: Diseño de mezcla con asfíer 211 óptimo	- 84 -
Tabla 5. 2: Diseño de mezcla con asfíer 211 óptimo	- 88 -
Tabla 5. 3: Dosificación para prueba de almacenamiento con asfíer 211	- 93 -
Tabla 5. 4: Dosificación para prueba de almacenamiento con asfíer 211	- 93 -

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfico 2. 1 Clasificación de los agregados.....	- 21 -
Gráfico 2. 2 Fases de la emulsión	- 23 -
Gráfico 2. 3 Rotura o Rompimiento de la emulsión	- 24 -
Gráfico 2. 4 Curado de la emulsión	- 25 -
Gráfico2. 5 Proceso de elaboración de la emulsión	- 32 -
Gráfico2. 6: Proceso de colocación de una mezcla abierta.....	- 36 -
Gráfico2. 7: Proceso de colocación de una mezcla cerrada	- 36 -
Gráfico 4. 1: Asfier vs Agua.	- 79 -

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 3. 1 Obtención de los agregados en cantera Pifo, Holcim.	- 46 -
Foto 3. 3: Tamizadora agregado Fino	- 47 -
Foto 3. 4: Máquina de los ángeles.....	- 50 -
Foto 3. 5: Gravedad específica fino.	- 51 -
Foto 3. 7: Ensayo equivalente de arena.....	- 53 -
Foto 3. 9: Ensayo de estabilidad por medio del tamizado.....	- 55 -
Foto 3. 11: Vasos en el horno, ensayo de residuo.....	- 57 -
Foto 3. 13: Muestra en el agua.....	- 60 -
Foto 4. 1: Briquetas.....	- 62 -
Foto 4. 3: Briquetas disgregadas	- 64 -
Foto 4. 2: Equipo junto con la olla y mezcla	- 64 -
Foto 4. 4: Procedimiento suplementario.	- 64 -
Foto 4. 5: Mezcla fría de asfalto – agregado.....	- 65 -
Foto 4. 7: Mezcla.	- 67 -
Foto 4. 9: Pedestal de compactación con el molde.	- 69 -
Foto 5. 1: Mezcla en agua en punto de ebullición.....	- 83 -
Foto 5. 2: Mezcla óptima 211 antes de ser sometida al ensayo de peladura.	- 86 -
Foto 5. 4: Briquetas en baño María derretidas	- 91 -
Foto 5. 6: Mezcla óptima 240 antes de ser sometida al ensayo de peladura.	- 92 -

CAPÍTULO I: Generalidades

1.1 Antecedentes

El asfalto en el Ecuador, durante varios años, ha presentado varios incumplimientos en su funcionalidad, lo que podría ser causado por la mala calidad de los materiales. “Actualmente en el país se desconoce de un estudio serio sobre la intervención de los ligantes asfálticos en el comportamiento y resistencia real de los pavimentos asfálticos de nuestras carreteras” (Herrera, Botasso, Cachago, Cajo, & Palma, 2011, pág. 2).

Varios factores intervienen en el desgaste del asfalto pudiendo ser, el aumento de tránsito vehicular, cambios de temperatura, cambios de cargas, circulación de tráiler en lugares no autorizados, entre otros.

Germán Iturralde (2011) afirma: “De los 4 148 km de vías que hay en la capital, 3 097 tienen recubrimiento (asfalto, adoquín, piedra y hormigón). El 80% cumplió su vida útil”.

El principal objetivo de realizar estudios técnicos es mejorar este componente del pavimento de tal manera que se satisfagan las necesidades de los consumidores y se cumpla con las normas nacionales e internacionales a un precio razonable.

El asfíer es un componente líquido, cumple varias características como buena estabilidad, recubrimiento, entre otros. Está formado por una mezcla de aminas grasas, resinas orgánicas y un solvente orgánico que le proporciona mayor estabilidad al almacenamiento, principalmente a bajas temperaturas.

En la presente tesis se realizará un estudio de mezclas asfálticas en frío incorporando diferentes porcentajes de asfier 211 y asfier 240, cuyo objetivo es determinar, evaluar y comparar si las características físicas y mecánicas del asfalto modificado han sido mejoradas respecto a la mezcla tradicional.

El diseño de la mezcla se evaluará a partir del Método Marshall (ASTM D1559) sin adición de asfier y se comparará con mezcla asfáltica añadida asfier 211 y asfier 240 en porcentajes de 1% , 3% y 5%, de este análisis se tomará la mezcla óptima que mejore las características de la mezcla y se procederá a determinar su resistencia.

1.2 Antecedentes

Un sinnúmero de problemas se ha visto reflejado en el pavimento de Quito, dados por diferentes factores como los mencionados anteriormente, lo cual ha servido como impulso para la realización de la presente tesis.

El asfalto es importado por Petroecuador, en Quito la mezcla asfáltica es producida por la EPMOP la cual no puede garantizar la calidad de la materia prima, ni Petroecuador la eficacia del proceso de tratamiento. (Diario “La Hora”, 2011).

Tomando como referencia la cita antes mencionada, podemos decir que actualmente en la ciudad de Quito las mezclas en frío fabricadas en planta en ocasiones no satisfacen requerimientos como: recubrimiento, color, almacenamiento, adherencia a los agregados, entre otros; tanto a corto plazo como a largo plazo. Por lo tanto, es importante mejorar sus características mecánicas y físicas mediante una buena formulación de la mezcla, en nuestro caso se logrará esto mediante la adición de

diferentes porcentajes de asfier 211 y asfier 240 en el agua de pre-envuelta, sobre los que ya contiene la emulsión.

José Salvador (2012), afirma que: Para la construcción de una vía con asfalto es fundamental seguir un control de calidad, que no es caro. Corresponde al 2% del total del valor del contrato. Con este proceso se debe verificar la calidad del material, la adecuada construcción y el mantenimiento constante.

1.3 Justificación

En la industria de la construcción cada vez se innova con materiales nuevos y de mejor calidad, uno de estos en el área vial y con gran versatilidad son las mezclas asfálticas en frío, estas tienen mucha aceptación a nivel internacional, además de ser amigables con el medio ambiente, los gastos energéticos para su producción son menores y no ocasionan contaminación luego de ser colocadas (*Jiménez Acuña, 2009*). Este tipo de mezclas, al ser de alta producción en el país, nos pueden ofrecer una gran variedad de usos como la construcción de capas de rodadura para vías de tráfico medio y liviano, así como para parqueaderos, son útiles como producto de mantenimiento para vías: calles, caminos y garajes de asfalto o de concreto (baches), construcción de pequeños peraltes, colocación de rejillas de calzada y tapas de registro.

Este producto debido a sus diversos usos y a la facilidad en su elaboración, ha sido nuestro impulso para mejorar sus características mecánicas (resistencia a la compresión Marshall) y sus características físicas tales como: el recubrimiento de la emulsión a los agregados, apariencia más atractiva, mejor color de la mezcla.

1.4 Alcance

Elaborar una mezcla asfáltica en frío que pueda ser almacenada durante largos periodos de tiempo sin alterar sus propiedades físicas ni mecánicas, así como también mejorar dichas características si la mezcla es utilizada a corto plazo.

Para la investigación se utilizará el método convencional Marshall modificado para mezclas asfálticas en frío, y se analizará el comportamiento de la misma con diferentes porcentajes asfier 240 y asfier 211 para determinar la cantidad óptima en calidad y precio.

1.5 Objetivo General

Analizar y mejorar el comportamiento de la mezcla en frío mediante la adición de porcentajes de asfier 211 y 240 en el agua de pre-envuelta.

- ❖ Caracterizar los agregados pétreos a utilizar en la dosificación en las mezclas asfálticas.
- ❖ Verificar que todos los materiales cumplan con las normativas vigentes.
- ❖ Diseñar y proporcionar la cantidad óptima de emulsión
- ❖ Diseñar y proporcionar la cantidad óptima de asfier 211 y 240
- ❖ Determinar el mejor costo en el que la mezcla cumpla con los requerimientos.

CAPÍTULO II: DEFINICIÓN DE LOS MATERIALES

2.1 Materiales

2.1.1 Asfalto

El asfalto es un material anisotrópico de color oscuro, negro o café, de apariencia visco-elástica y pegajoso que sirve como cementante en mezclas asfálticas y tiene una excelente adherencia a los agregados. Tiene una consistencia entre sólida y semisólida a bajas temperaturas o temperaturas normales y a una temperatura elevada se vuelve totalmente líquido, el asfalto es termoplástico y tiene propiedades como impermeabilidad adhesividad y durabilidad. Este producto fue utilizado desde el año 2500 A.C, aunque no específicamente en la construcción de vías, hoy en día el asfalto es el producto más usado en la elaboración de caminos debido a su bajo costo y en cierta forma a su resistencia.

El asfalto es el componente principal de la emulsión asfáltica ya que constituye entre un 50 y 75%. Las propiedades del cemento asfáltico escogido afectarán de una manera u otra las propiedades de la emulsión, pero por lo general las emulsiones están hechas con un asfalto que cumpla con las características impuesta en la norma ASTM 962 y la norma ecuatoriana INEN 2062.

El asfalto proviene de la refinación del crudo de petróleo y su composición química es variada ya que depende a las variaciones de las fuentes de crudo y los métodos de refinación que se utilicen.

Es importante comprender el concepto de la refinación del petróleo, el cual es un proceso por el cual se separan diferentes productos del petróleo mediante la variación

o juego de temperaturas, el asfalto por ejemplo puede ser obtenido cuando el petróleo se destila al vacío a una temperatura de 480°C aproximadamente, otros productos como la gasolina, se pueden obtener desde temperaturas menores a 50°C hasta alrededor de los 200°C.

En la producción del asfalto se puede jugar con varios tipos de crudos para obtener el resultado deseado. Existen dos procedimientos para obtener el asfalto; estos son la destilación al vacío y con extracción de solventes. Una vez utilizados estos procedimientos para el refinamiento del asfalto, estos pueden ser combinados para formar un asfalto que satisfaga las necesidades requeridas.

2.1.1.1 Química

Este material es una mezcla compleja de hidrocarburos (hidrogeno más carbono) y algunos residuos de azufre y otros elementos. Se compone de dos partes, la parte pesada se llama asfáltenos (que no se disuelve en solventes como el heptano), son de color negro y dan la dureza al asfalto. La parte liviana se llama máltenos, elementos que se disuelven al heptano, que pueden ser derivados como parafinas, resinas de color ámbar y aceites aromáticos generalmente de color más claro.

El comportamiento químico que puede tener el cemento asfáltico depende de su proceso de refinamiento y su procedencia. La proporción entre asfáltenos y máltenos también varía según factores ambientales.

El asfalto es discontinuo, inhomogeno y coloidal, es decir un sistema formado por dos o más fases y precisamente la microestructura del asfalto está definida por la fracción

de asfáltenos por cantidad de máltenos que exista en su composición (micelas), además de la distribución de tamaños de las partículas.

El asfalto puede ser modificado con varios aditivos para mejorar sus características mecánicas como por ejemplo puede ser modificado con hule (SBR) o con otro tipo de sustancias que permita mejorar tanto la apariencia como consistencia del asfalto.

2.1.1.2 Origen

Es necesario definir las diferencias entre los ligantes bituminosos que existen, su origen a dado lugar a esta clasificación:

Asfalto: Son ligantes bituminosos naturales mezclados con impurezas que no son solubles a sulfuro de carbono y que se encuentran en una cantidad mayor al 5%, pero según términos estadounidenses, el betún es lo mismo que el asfalto.

Betunes: Son ligantes bituminosos artificiales, pero que también pueden ser naturales que proceden del petróleo con un contenido de impurezas no solubles en sulfuro de carbono inferior al 5%.

Alquitranes: Son ligantes bituminosos artificiales, que provienen de la incineración o destilación destructiva de materiales como carbones o maderas y serán mejor conocidos como hulla.

2.1.1.3 Clasificación

Los cementos asfálticos pueden clasificarse en tres grandes grupos de los cuales, la emulsión asfáltica es de la que se tratará en este capítulo.

- ❖ Cementos asfálticos
- ❖ Asfalto diluido
- ❖ Emulsiones asfálticas

Los cementos asfálticos también pueden clasificarse según su:

Grado de penetración:

Tipo de cemento	Penetración
AC 40-50	40 y 50
AC 60-70	60 y 70
AC 85-100	85 y 100
AC120-150	120 y 150
AC 200-300	200 y 300

Tabla 2. 1 : Clasificación del asfalto según su penetración

Según su viscosidad:

La unidad de medida de la viscosidad es el poises, el primer cemento asfáltico corresponde a un asfalto blando y los últimos a asfaltos duros. La temperatura a la que se realiza los ensayos de viscosidad es de 60°C.

Tabla 2. 2 Clasificación del asfalto según su viscosidad

Tipo de cemento	Grado de Viscosidad (poises)
AC- 2.5	250±50
AC-5	500±100
AC-10	1000±200
AC-20	2000±400
AC-30	3000±600
AC-40	4000±800

Según su viscosidad envejecido:

La idea de esta clasificación es simular mediante ensayos, el envejecimiento que tiene el asfalto al ser colocado en una vía.

Tabla 2. 3: Clasificación del asfalto según su Viscosidad envejecida.

Tipo de cemento	Grado de Viscosidad (poises)
AR- 10	1000±250
AR-20	2000±500
AR-40	4000±1000
AR-80	8000±2000
AR-160	16000±4000

En las clasificaciones del asfalto no se toma en cuenta sus propiedades químicas, a pesar de que la composición química es el que da las propiedades físicas a la mayoría de elementos y sustancias.

Las razones por la cual no se toma en cuenta la química en la clasificación del asfalto, son debido a que es muy compleja y no existe una composición química normalizada o estandarizada. Los ensayos de tipo químico para asfaltos son difíciles de realizar y existe muy poca gente capacitada para realizarlos. Aun no se ha determinado las relaciones exactas entre la química de un asfalto y su comportamiento como una estructura.

2.1.1.4 Propiedades Físicas del asfalto

Según las propiedades físicas del asfalto se puede generar una clasificación más adecuada para sus usos en la construcción y para el mantenimiento de vías y carreteras y su uso para otros productos de construcción.

Durabilidad: Es la medida en la que un asfalto puede retener sus características iniciales, principalmente esta propiedad se mide en la estructura de un pavimento, pero debido a la combinación con otros materiales, la composición del asfalto cambia. Por lo tanto, existen ensayos como el TFO y RTFO que son pruebas de película delgada.

Adhesión y cohesión: La adhesión es la propiedad del asfalto para unirse a los agregados y la cohesión para mantener unidos a todos los agregados.

Susceptibilidad a la temperatura: Propiedad del asfalto en la que a bajas temperaturas se vuelven más duros y a altas temperaturas se vuelven blandos, es decir son elementos termoplásticos.

Endurecimiento y envejecimiento: El endurecimiento del asfalto se da principalmente por el proceso de oxidación, en condiciones en las que el asfalto forma películas delgadas que cubren al agregado esto ocasiona que exista la etapa en donde se da la mayor oxidación y endurecimiento del asfalto.

2.1.1.5 Pruebas para determinar las propiedades del cemento asfáltico

Viscosidad: Por lo general este ensayo se realiza a una temperatura de 60°C, un segundo ensayo de viscosidad realizada a una temperatura de 135° C corresponde a la temperatura de mezclado del hormigón asfáltico y su colocación en la obra y mediante estas temperaturas es posible determinar si el asfalto es apropiado para la vía.

Penetración: Este ensayo se realiza mediante la penetración de una aguja normada a una muestra del bitumen a 25°C, es otra medida de la consistencia del bitumen

Punto de inflamación: Temperatura a la cual el bitumen crea un destello debido a la inflamación de materiales volátiles al ser expuestos a una llama.

Ductilidad: Se mide mediante el estiramiento de una muestra de bitumen.

Solubilidad: Es una medida de la pureza del bitumen, al ser sumergida en tricloroetileno, en donde las impurezas no se disuelven y quedan en forma de partículas.

Peso específico: Este ensayo se realiza como cualquier peso específico de un material, este ensayo nos permite obtener datos para calcular el volumen de vacío en un pavimento y su expansión o contracción dependiendo de las temperaturas a las que esté expuesto.

2.1.1.6 Desventajas:

Es un material que es susceptible a los cambios de temperatura y que sufre de envejecimiento sobre todo al ser expuesto a las condiciones climáticas (intemperismo). A bajas temperaturas el asfalto es quebradizo y a muy altas temperaturas el asfalto reblandece, además de la pérdida de elasticidad que sufre cuando está expuesto a paso del tiempo.

2.1.2 Agregados

Todos los agregados que se utilicen para capas de rodadura deberán cumplir con las especificaciones de las normas vigentes, en nuestro caso la normativa para agregados para hormigón asfáltico viene dados por la normativa MOP-001-F2002.

Los agregados a utilizar deben ser lo suficientemente duros para resistir el impacto de las cargas del tráfico, en general los agregados deben cumplir con las siguientes características:

Tamaño: Los agregados tienen que cumplir con el tamaño especificado en las normas para realizar el tratamiento vial requerido, es decir que si se trata de una mezcla para pavimento, una base estabilizada, un micro pavimento o una lechada simple, la granulometría variará. Si se trata de una base estabilizada, la granulometría para las bases comenzaran con agregado desde las dos pulgadas, mientras que para una lechada la granulometría empezará con un tamaño de agregado N°4 , es decir la granulometría pertenece a un agregado fino.

Forma: La forma de los agregados también es muy importante para que exista una adecuada cohesión entre las partículas de agregado y el ligante y también un trabe

adecuado entre los agregados. Por lo general los agregados que no poseen gran porcentaje de partículas alargadas, planas o lisas son adecuados para su uso en mezclas asfálticas

Limpieza: Es muy importante que el agregado se encuentre libre de polvo e impurezas, como limos y arcillas que podrían evitar la correcta adherencia entre la emulsión y el agregado.

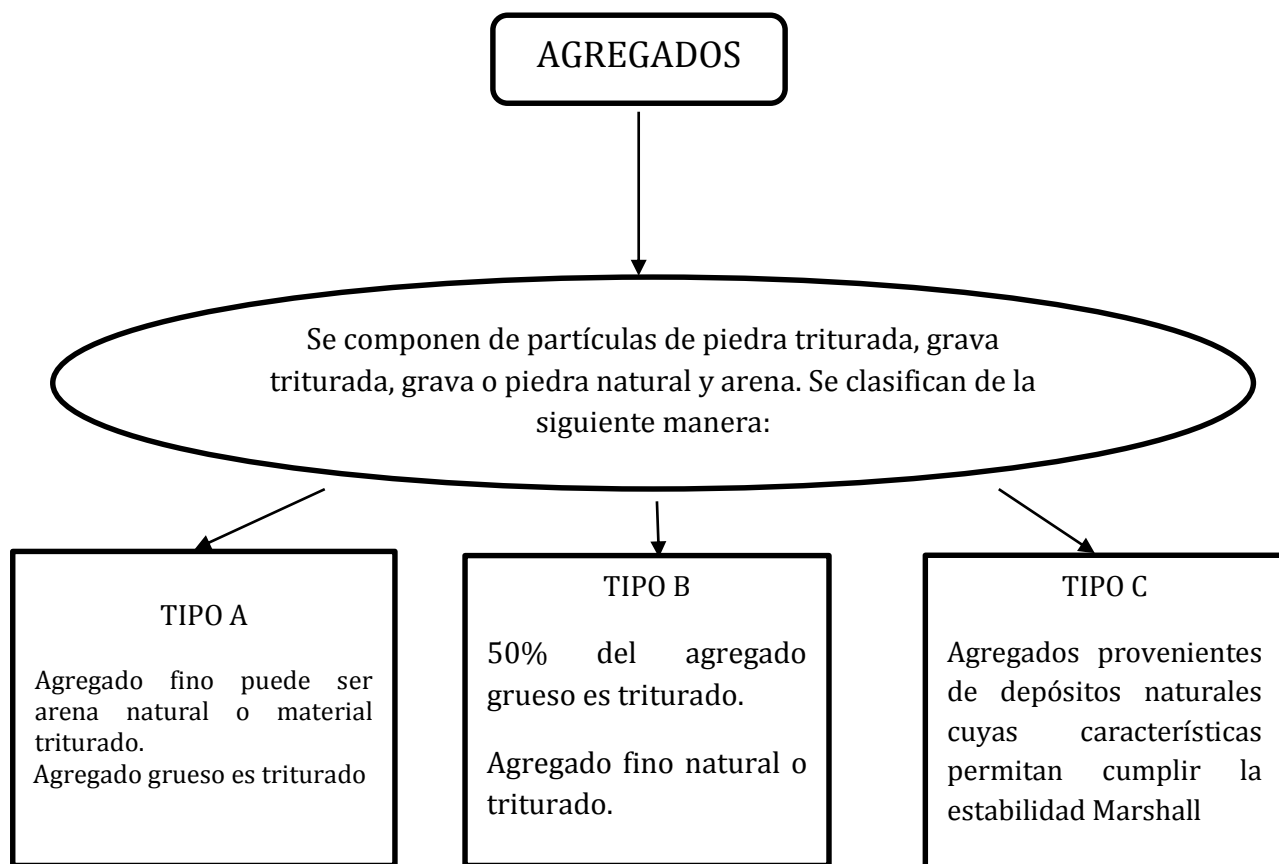
Adicional a esto, por lo general se ocupa dos tipos de agregados que son:

Agregado fino: Porción de material que pasa el tamiz INEN 4.75 mm. (N° 4) y es retenida en el tamiz INEN 75 micrones (N° 200).

Agregado grueso: Agregado cuyas partículas son retenidas por el tamiz INEN 4.75 mm. (N° 4).

Según la clasificación que nos brinda el manual MOP-001f-2001 podemos distinguir tres tipos de agregados:

Gráfico2. 1 Clasificación de los agregados



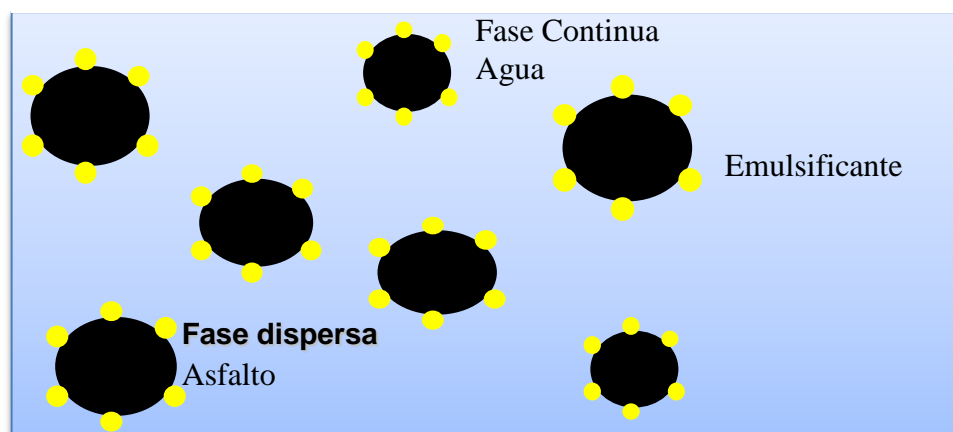
2.1.3 Emulsiones asfálticas

Las emulsiones asfálticas tienen una composición basada en tres elementos que son: el agua y el asfalto y un agente emulsificante que nos permite unir estos dos elementos ya que el agua y el asfalto por si solos no se pueden unir, tal cual el agua y el aceite, pero gracias a un agente jabonoso (agente emulsificante) se pueden lograr la asociación de estos elementos, logrando así que el cemento asfáltico tenga una dispersión de sus moléculas totalmente estable para lograr el almacenamiento y uso de este material.

En esta dispersión, el asfalto se encuentra en el agua en forma de glóbulos muy pequeños obtenidos por el corte o la cizalladura que genera un molino coloidal y que

quedan suspendidos en el agua con la ayuda de un emulsificante. Se puede distinguir dos fases en una emulsión asfáltica que son: La fase continua que corresponde al agua que compone la emulsión y la fase dispersa que corresponde a los glóbulos de asfalto.

Gráfico2. 2 Fases de la emulsión



Fuente: Chova del Ecuador

Las gotitas de asfalto se suspenden en el agua gracias al surfactante (emulsificante), este produce un cambio la tensión superficial del asfalto que las ayuda a mantenerlas suspendidas. Estos glóbulos de asfalto al poseer la misma carga eléctrica se repelen y esto también ayuda a mantenerlos en suspensión

2.1.3.1 Propiedades de las emulsiones asfálticas

Rotura: separación del agua con el asfalto tras entrar en contacto con agregados o con la superficie en donde será colocada.

Las emulsiones son diseñadas o modificadas para poder tener un tiempo en específico de rompimiento, logrando así que la mezcla que se requiera, siga manejable hasta que entre en contacto con la superficie en donde será aplicada.

Las emulsiones se puede clasificar de acuerdo a su tiempo de rompimiento, algunos ejemplos son:

Emulsiones MS y RS: Estas emulsiones al ser de rotura rápida y media, el fenómeno de rompimiento se da mediante una reacción electroquímica con el agregado y tendrá un corto tiempo de manejabilidad de las mezclas de entre 1 y 5 minutos aproximadamente.

Emulsiones SS: Estas emulsiones son de rotura lenta y estas son las más utilizadas para realizar mezclas asfálticas debido a que brindan un mayor tiempo trabajabilidad de la mezcla ya que el mecanismo de separación de la fase asfáltica de la acuosa es mediante la evaporación del agua de la emulsión.

Gráfico 2. 3 Rotura o Rompimiento de la emulsión



Fuente: Chova del Ecuador

Curado: El curado corresponde a la evaporación del agua de la emulsión, el cemento asfáltico restante conserva la capacidad adhesiva, durabilidad y resistencia al agua. En el proceso de curado, la mezcla asfáltica va ganando también la propiedad de ser cohesiva (unión de los agregados).

El curado dependerá de varios factores, en especial los factores climáticos que podrán extender o acortar el proceso de evaporación del agua de la emulsión, así como también

al medio a la que vaya a estar expuesta y se pueda eliminar el agua, como lo es el proceso de compactación.

La capacidad de absorción de los agregados también será otro determinante para el curado de la emulsión

Gráfico 2. 4 Curado de la emulsión



Fuente: Chova del Ecuador

En los últimos tiempos se ha estado desarrollando varios tipos de emulsiones para el uso en específico que se necesite, por ejemplo, si solo es la mantención de una vía se desarrolla emulsiones que permitan que después de colocado el tratamiento se realice la apertura al tráfico en el promedio una hora.

La diferencia entre el curado y la rotura de una emulsión es que la rotura es la separación de las fases de una emulsión y puede durar minutos mientras que el curado de una emulsión puede tomar varios días.

2.1.3.2. Clasificación de las emulsiones asfáltica

Según su carga eléctrica:

Anionica: La emulsión tiene partículas cargadas negativamente (ánodo).

Catiónica: La emulsión contiene partículas cargadas positivamente (cátodo), esta emulsión es la más común en el campo de la construcción

No iónica: Las partículas del asfalto son neutrales.

Según su tiempo de coalescencia:

El tiempo de coalescencia depende netamente de la estabilidad que tiene la emulsión, es decir, el tiempo en que las partículas de emulsión rompen al entrar en contacto con los agregados, entre las cuales tenemos:

- ❖ Rotura rápida (RS, rapid setting)
- ❖ Rotura media, (MS, medium setting)
- ❖ Rotura lenta (SS, Slow Setting)
- ❖ Rotura acelerada (QS, Quick Setting) que es especial para lechadas asfálticas.

Adicionalmente a esta clasificación se puede notar otras siglas que nos indican que tan viscosa es la emulsión, su carga o la consistencia del cemento asfáltico, tal como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 2. 4 Nomenclatura de las emulsiones.

Letra/ número	Significado
C	Anteponiéndose a las siglas de rotura significa que la emulsión es catiónica

-	Si no existe este prefijo, la emulsión es aniónica
1	Viscosidad uno
2	Viscosidad dos (mas viscosa que la uno
H	Que contiene cemento asfáltico duro
S	Que contiene cemento asfaltico suave
HF	Por lo general preceden a emulsiones aniónicas de alta Flotación

Tipos comunes de emulsiones asfálticas catiónicas según las normas ASTM D2397

Tabla 2. 5 Tipos de emulsiones catiónicas.

Tipo de rotura	Tipos de emulsión
Rotura Rápida	CRS-1
Rotura Media	CMS-2
	CMS-2h

Rotura Lenta	CSS-1
	CSS-1h
Rotura acelerada	CQS-1h

Tipos comunes de emulsiones asfálticas aniónicas según las normas ASTM D977

Tabla 2. 6 Tipos de emulsiones aniónicas.

Tipo de rotura	Tipos de emulsión
Rotura Rápida	RS-1
	RS-2

	HFRS-2
Rotura Media	MS-1
	MS-2
	MS-2h
	HFMS-1
	HFMS-2
	HFMS-2h
	HFMS-2s
Rotura Lenta	SS-1
	SS-1h

2.1.1.3 Componentes de la emulsión

Asfalto: Este es el componente principal de la emulsión asfáltica y tiene proporciones entre 52% Y 64%, según normas ecuatorianas, según el manual MS-19 no hay correlación exacta entre las propiedades de asfalto y la facilidad con que el asfalto puede ser emulsionado. Sin embargo, como ya se ha mencionado antes, se pueden utilizar varios tipos de asfaltos para preparar las emulsiones como asfaltos duros y

blandos, pero un requisito según el manual del asfalto es que cumplan con un rango de penetraciones entre 60 y 250.

Agua: Para la elaboración de la emulsión, se necesita de agua que cumplan con ciertas características que no afecten la estabilidad de la emulsión, es decir que no contengan partículas que afecten a una emulsión catiónica como aniones tales carbonatos o a las emulsiones aniónicas, es decir, elementos catiónicos como calcio o magnesio que son componentes típicos del agua potable.

Agentes emulsivos: Los agentes emulsivos son sustancias tenso-activas o surfactantes que permiten que el asfalto y el agua se puedan unir, es decir que logren una dispersión estable del asfalto en agua evitando la coalescencia de las partículas de asfalto. Así también el agente emulsificante permitirá el rompimiento oportuno de la emulsión al contacto con los agregados.

Tipos de emulsificantes:

Antiguamente la historia nos indica que el emulsificante que se utilizaba era la sangre de animales, arcillas y jabones.

Agentes emulsivos aniónicos: Corresponden a ácidos grasos derivados de la madera como resinas o aceites que son saponificados, es decir convertidos en jabón mediante una reacción con hidróxido de sodio o potasio.

Agentes emulsivos catiónicos: Por lo general aminas grasas que se convierten en jabón al reaccionar generalmente con ácido clorhídrico.

Otros tipos de agentes emulsivos: Grasas cuaternarias que no necesitan ácidos para reaccionar y son solubles al agua, por lo general se utiliza en emulsiones catiónica.

Formulación de la emulsión

Para elaborar la emulsión se tomará en cuenta las siguientes especificaciones para determinar la cantidad necesaria de cada uno de los componentes necesarios para fabricar la emulsión:

- ❖ Características del asfalto a utilizarse
- ❖ Tipo de emulsificante para el tipo de emulsión a fabricar
- ❖ Determinación de la cantidad necesaria de emulsificante y su respectivo reactivo para saponificación
- ❖ Empleo de estabilizantes y aditivos
- ❖ Maquinaria a utilizar y las condiciones de trabajo.

2.1.3.4 Elaboración y estabilidad al almacenamiento de la emulsión

Básicamente para realizar la emulsión se necesita de un molino coloidal de altas velocidades que corte al asfalto en pequeños glóbulos, además se necesita de tanques de almacenamiento para el asfalto caliente y el agente emulsivo con el agua que se inyectarán en el molino.

En el proceso de elaboración de la emulsión primero ingresa el asfalto caliente a una temperatura en la cual tenga una baja viscosidad, así mismo el agua entra con una temperatura establecida conjuntamente con el agente emulsificante, por lo general el

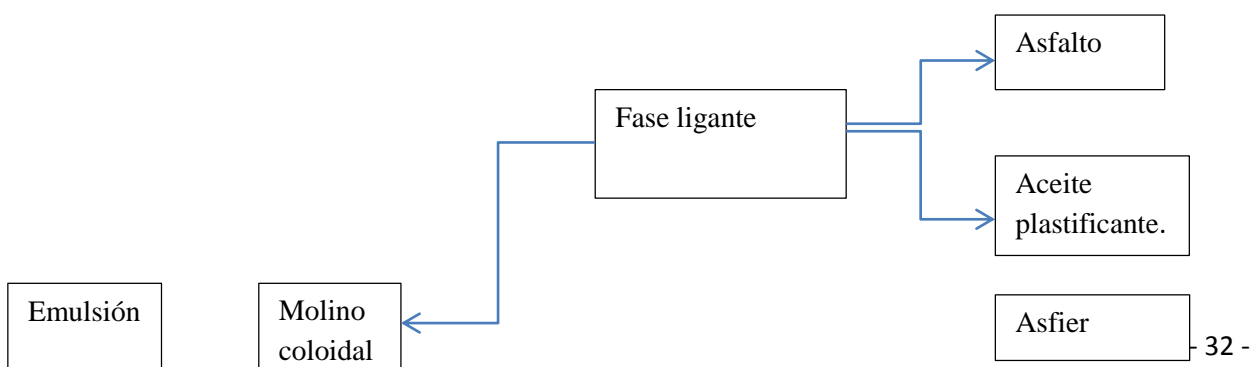
agente emulsificante necesita reaccionar con ácido clorhídrico para que se convierta en una solución jabonosa y este elemento se coloca antes de que se mezcle con el agua, la emulsión siempre debe salir a una temperatura inferior a la temperatura de ebullición del agua por lo que el asfalto no se lo inyecta a altas temperaturas. Todas las cantidades que se inyecten al molino coloidal normalmente se hacen con medidores de caudal.

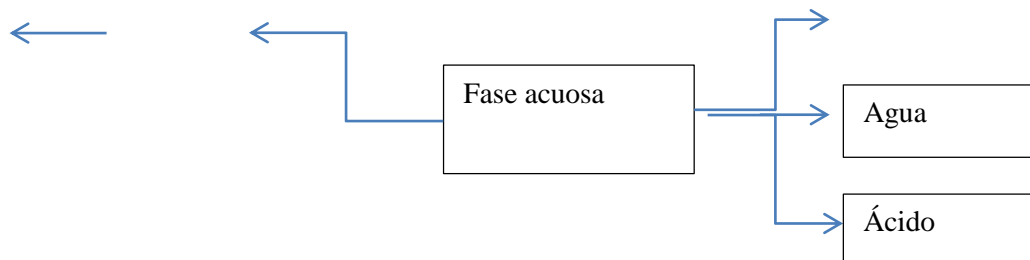
La emulsión se puede almacenar sin ningún problema en silos especiales para su almacenamiento, pero se debe tomar en cuenta que mientras pase el tiempo se va a desarrollar dos fenómenos que son:

Nata: Es una película delgada de asfalto que se forma al entrar la emulsión en contacto con el aire.

Sedimentación: Se da por efecto de la gravedad y consiste en el asentamiento de las partículas de asfalto en el fondo de su contenedor y es un fenómeno inevitable, pero que es reversible se da una recirculación de la emulsión.

Gráfico2. 5 Proceso de elaboración de la emulsión





2.1.3.4 Usos generales de la emulsión

Las emulsiones asfálticas han tomado mucho campo en el ámbito de la construcción ya que es muy versátil y se le puede dar diversos usos y no solo para realizar carpetas asfálticas, debido a que se puede trabajar en temperaturas ambientes y se puede abrir las vías al tráfico en cortos tiempos se lo puede dar diversos usos como:

- Pavimentos asfálticos, en carreteras es decir Mezcla cerrada y mezcla abierta
- Juntas para pavimentos hidráulicos

Tratamientos como:

- Impermeabilizantes.
- Riegos de impregnación.
- Riegos de imprimación o penetración.
- Riegos negros con emulsión diluida.
- Riegos de liga.
- Riegos de sello con arena o gravilla seleccionada.
- Lechada asfáltica o slurry seal.
- Micropavimento.
- Bacheo.

2.1.3.5 Estabilidad de la emulsión ante los agregados pétreos

En este ensayo se determina la capacidad de la emulsión asfáltica para recubrir los agregados pétreos, en este ensayo se verifica la compatibilidad de los agregados con la emulsión.

2.1.3.6 Características reológicas del residuo

Para obtener el residuo se ha utilizado el método B de la norma INEN 905 correspondiente a la obtención del residuo por evaporación, cuya diferencia consiste en ensayar 4 muestras de emulsión en lugar de tres muestras.

2.2 Definiciones generales

2.2.1 Mezclas con emulsiones asfálticas

Las mezclas asfálticas se producen por la combinación de ligante hidrocarbonato y agregado pétreo y reciben el nombre de aglomerados. Son utilizadas para la construcción de carreteras, pavimentos industriales, aeropuertos entre otros.

Podemos identificar diferentes tipos de mezcla las cuales son:

Mezclas cerradas: Compuestas de agregados desde el máximo tamaño hasta el material pasante del tamiz N° 200.

Mezcla abierta: Alto porcentaje de vacíos por donde drena el agua.

Una emulsión asfáltica está compuesta por asfalto, agua y agente emulsivo. Se conoce que el asfalto y el agua no se mezclan, pero mediante una solución jabonosa se rompe la tensión superficial ya que esta solución rodea a las partículas de grasa, esto se hace

para que la mezcla se rompa rápidamente (entiéndase como rotura a la acción de separación entre el agua y el asfalto) al tener contacto con el agregado.

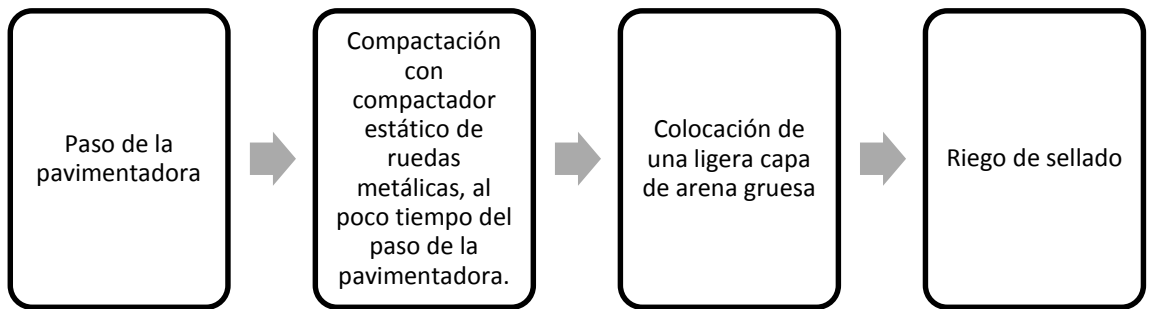
Las mezclas con emulsiones asfálticas en frío presentan mayores ventajas a comparación de las mezclas asfálticas en caliente, tales como: menor costo, menor contaminación, mayor seguridad de uso en áreas de alto riesgo de incendios, por el contrario, son menos trabajables. Cabe recalcar que a nivel de construcción, lograr la correcta colocación de una capa de manera lisa y uniforme es complicado, para esto la velocidad de la pavimentadora y el nivel de profundidad de la mezcla debe ser constante.

Tabla 2. 7:Espesor de capa aproximado según actividad

Actividad	Capas (mm)
Colocación de la mezcla	100
Compactación y curado	50 a 75

El proceso que se debe llevar acabo en mezclas en frío se detalla a continuación:

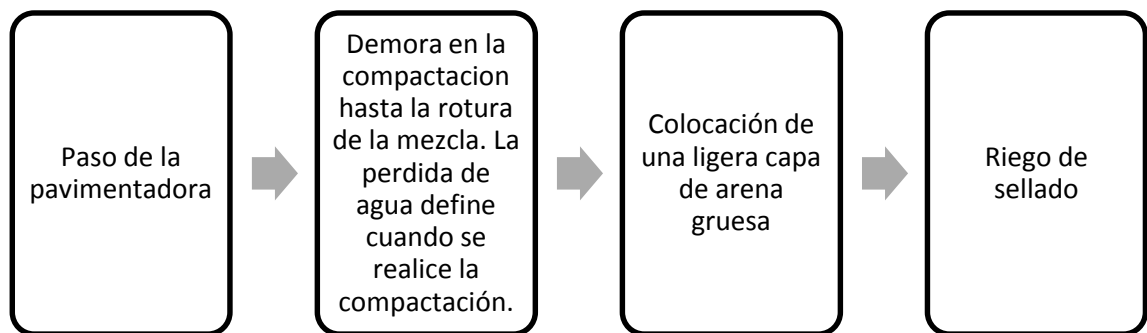
Gráfico2. 6: Proceso de colocación de una mezcla abierta



Mezclas abiertas

La compactación vibratoria no es recomendable ya que puede afectar la ligazón con el asfalto o la integridad de los agregados, además se coloca una ligera capa para impedir el levantamiento y daño del material por el tráfico. El riego de sellado puede ser usado para impedir el paso del agua al pavimento y a la base subyacente o subrasante.

Gráfico2. 7: Proceso de colocación de una mezcla cerrada



Mezclas cerradas

La mezcla cerrada presenta mayores niveles de humedad. El riego de sellado es requerido para impermeabilización y originar superficie de desgaste.

Recomendaciones:

- En las mezclas se debe colocar cierta cantidad de agua para que junto a la emulsión ésta presente buen grado de trabajabilidad, para esto se pueden realizar pruebas de agua y determinar qué cantidad es óptima para usar.
- La mezcla se debe realizar de tal manera que no se produzca la pronta rotura de la misma, es por eso que solo se debe homogenizar la emulsión con los agregados.
- La colocación de la mezcla para un rápido curado debe hacerse en diferentes capas.
-

2.2.2 Mezclas con emulsiones asfálticas y adición de asfier 211 y asfier 240

El cemento asfáltico y el agua no se unen, se necesita una solución jabonosa para que esto suceda, como se mencionó en el ítem 2.1.1, aquí radica la importancia del asfíer, producto utilizado en la presente tesis para mejorar las características de la mezcla asfáltica y además contenida por la emulsión. Las propiedades favorables del asfíer, indicadas en el ítem 2.3, para el empleo en mezclas asfálticas en frío las hacen útiles para el estudio realizado.

Para las mezclas asfálticas y adición de asfíer se utiliza grava, como agregado pétreo, a la que se añade arena para completar la fracción fina, tomando como referencia los pesos del diseño inicial de la mezcla, el resto se completa con asfíer 211 y 240 que depende de la cantidad de agua de cada porcentaje (1%, 3%, 5%). Para determinar la cantidad óptima de agua se hicieron pruebas.

La composición de la mezcla con emulsión 211 es la siguiente:

Tabla 2. 8: Composición de la mezcla con emulsión 211

Grava	40 %
Arena	60 %
Emulsión	10 %
Agua	3,3 %
Asfíer 1%	1 % (Respecto del porcentaje de agua)
Asfíer 2%	2 % (Respecto del porcentaje de agua)
Asfíer 3%	3 % (Respecto del porcentaje de agua)

La composición de la mezcla con emulsión 240 es la siguiente:

Tabla 2. 9: Composición de la mezcla con emulsión 240

Grava	40 %
Arena	60 %
Emulsión	10 %
Agua para asfíer 1%	1.8 %
Agua para asfíer 3%	1.5 %
Agua para asfíer 5%	1.2 %
Asfíer 1%	1 % (Respecto del porcentaje de agua)
Asfíer 3%	3 % (Respecto del porcentaje de agua)
Asfíer 5%	5 % (Respecto del porcentaje de agua)

La finalidad de añadir asfíer 211 y 240 en la mezcla asfáltica se detalla a continuación:

La mezcla al contener emulsión y agua lleva una gran parte de esta última, al añadir asfíer (componente que también contiene H₂O) aumenta, y es necesario realizar pruebas para que la muestra no exude y tenga suficiente cantidad de agua para obtener resultados favorables.

Se debe conocer las propiedades físicas y químicas del asfíer y sus características para tener una idea de la mejora que este compuesto podría causar a la mezcla y como debe reaccionar en la misma.

Si las características de la mezcla mejoran, por el componente añadido, se debe determinar su durabilidad. Es necesario evaluar cómo actúa a lo largo del tiempo y como los agentes externos pueden causar algún efecto no deseado en la mezcla.

2.3 Asfíer

2.3.1 Concepto

Es un emulsificante catiónico líquido, formado por una mezcla de aminas grasas, resinas orgánicas y un solvente orgánico que le proporciona mayor estabilidad al almacenamiento, principalmente a bajas temperaturas. Se utiliza para la manufactura de emulsiones asfálticas del tipo lento o súper estable que pasa la prueba de mezclado con cemento Portland.

La emulsión asfáltica a utilizar debe obedecer a un diseño previo, de acuerdo a las características de los agregados, mezcla, tipo de aplicación, condiciones ambientales y climatológicas.

2.3.1.1 Características del asfíer 211

- *Apariencia:* Líquido – jabonoso, color oscuro.
- *Naturaleza iónica:* Catiónico
- *Gravedad específica (20 °C):* 1,14 (25°C)
- *Solubilidad:* En agua
- *Emulsificante para asfalto*

Emulsiones que contienen este tipo de componente tienen mejor estabilidad, adherencia y cubrimiento de las partículas.

Su aplicación funciona mejor en emulsiones destinadas para mezclas densas en frío, estabilización de suelos, slurry seal y reciclado de pavimentos.

2.3.1.2 Características del asfier 240

Emulsificante catiónico, líquido, que se utiliza para la manufactura de emulsiones asfálticas de tipo lento o supe restable.

- *Aspecto:* Líquido – viscoso
- *Olor:* Característico
- Buena estabilidad y cubrimiento de las partículas.

Adecuadas para mezclas densas en frío, estabilización de suelos, slurry seal y reciclado de pavimentos.

La cantidad de componentes necesarios para cada emulsificante se detallan a continuación:

Tabla 2. 10: Composición en peso de la emulsión 211

Asfier 211	
Asfalto	600 – 620 Kg
Agua	380 – 400 Kg
Ácido clorhídrico	Hasta ajustar pH de 2
Asfier 240	12 Kg
Total	1000 kg

Fuente: Quimikao

Tabla 2. 11: Composición en peso de la emulsión 240

Asfier 240	
Aslfato	600 – 610 Kg
Agua	400 – 390 Kg
Ácido clorhídrico	Hasta ajustar pH de 1.8
Asfier	13 Kg
Total	1000 Kg

Fuente: Quimikao

2.4 Descripción de las mezclas asfálticas

2.4.1Mezclas con emulsiones asfálticas

El principal componente de una mezcla asfáltica es el asfalto, actualmente existen tres tipos: Mezcla cerrada, mezcla abierta y mezcla arena – emulsión. Cada una de estos tipos presentan diferentes características, las cuales se presentan a continuación.

Las mezclas cerradas o también llamadas densas en frío son aquellas cuya granulometría es muy completa ya que los tamaños pueden ir entre el máximo tamaño hasta el material pasante por el tamiz #200. Pueden aplicarse de manera general en el área de pavimentos. Este tipo de mezcla se forma por la combinación entre emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta con agregados en su mayoría finos.

Se denominan mezcla arena – emulsión o lechada asfáltica a aquellas compuestas por emulsión de rotura lenta y media de alta flotación, agregado fino bien graduado, llenante mineral y agua.

Alfonso Montejó (2006), afirma: La proporción de arena no podrá exceder el 25% de la masa total del agregado combinado.

Este tipo de mezcla se limita al uso de arenas finas limpias y limosas con poco contenido de arcilla, además pueden ser usadas en sub – bases y bases.

Las mezclas cerradas se las definen como la combinación de emulsión catiónica de rompimiento medio y agregado grueso en su mayoría, por tal razón presenta gran cantidad de vacíos y se usa en bases y carpetas de rodamiento. Su funcionamiento es ideal cuando se quiere una mezcla de alta calidad para tráfico pesado, además de resultar económicas debido al equipo utilizado. Se deben realizar evaluaciones a la mezcla para determinar su resistencia, deformación plástica, cohesión, entre otros. Se conoce que el comportamiento de las mezclas depende de factores externos a ellas como las cargas a la que está sometida, condiciones climáticas, entre otros. Es por eso que se debe conocer la reología del material.

2.4.2 Diseño de la mezcla

Para el diseño de la mezcla es necesario determinar la cantidad y tipo de agregado que debemos usar, se debe determinar el porcentaje de emulsión a usarse mediante pruebas de laboratorio y además se debe considerar cierta cantidad de agua de manera que haga que la muestra no exude en forma excesiva, para ello se deben realizar pruebas.

Para determinar el tipo de emulsión a usarse, se debe considerar el porcentaje de residuo del asfalto, características del agregado, velocidad del curado, entre otros.

Un punto importante son los agregados, que ocupan un gran porcentaje del peso total de la muestra, es por eso que deben cumplir con ciertos parámetros indicados en normas, además deben tener compatibilidad con la emulsión asfáltica.

Para el diseño de mezclas existen varios métodos como:

- The Hubbard – Field
- Método Hveem
- Método de la Western Association of State Highway on transportation Officials. WASHTO.
- Método de Asphalt Aggregate Mixture Analysis System. AAMAS.
- Método SUPERPAVE.
- Método Marshall

El método más utilizado es “Marshall” por estar destinado para el diseño de mezclas con granulometrías abiertas, aunque no existe método universal aceptado.

Según Vicente Cajas y Andrés Iglesias (2010), afirman: El método Marshall utiliza estabilidad y porcentaje de vacíos como pruebas fundamentalmente.

CAPÍTULO III: ENSAYOS A LOS MATERIALES

3.1 Descripción de los ensayos

En este capítulo se presentan los ensayos realizados a los agregados para determinar sus características mecánicas y verificar si cumplen con las especificaciones requeridas. Para los ensayos realizados se tomó como guía normas nacionales (MOP e INEN) e internacionales (ASTM y AASHTO).

3.1.1 Obtención de los agregados Holcim

Holcim opera en el Ecuador desde el año 2004, empresa líder en la producción de materiales de construcción, cuenta con una gama de agregados que incluye piedra triturada, grava y arena de calidad. La cantera que nos proporcionó el material se encuentra ubicada en Pifo, las muestras se encuentran en pilas y se debe tomar muestras en distintos intervalos de tiempo para determinar cambios granulométricos.

Los agregados deben cumplir en primera instancia con la granulometría, ya que nos ayuda a determinar el tamaño de partícula presente en el agregado, este ensayo se lo realiza mediante el tamizado de las partículas tal como lo especifica la norma INEN 696, además debe cumplir con ciertas características como dureza, durabilidad, resistencia, tamaño máximo.

Los agregados se clasifican en gravas o arena. La arena es la porción de material que pasa el tamiz INEN 4.75 mm. (Nº 4) y es retenida en el tamiz INEN 75 micrones (Nº 200). (NTE INEN 696:2011). La grava es el agregado cuyas partículas son retenidas por el tamiz INEN 4.75 mm. (Nº 4). (NTE INEN 696:2011).



Foto 3. 1 Obtención de los agregados en cantera Pifo, Holcim.

3.2 Ensayos y características de los materiales granulares

3.2.1 Granulometría

Normas: ASTM C 136-09, AASHTO T-27, INEN 696

Se denomina granulometría a los porcentajes en peso de los distintos rangos de tamaños de partículas que contienen los agregados y determina la gradación de agregados finos y gruesos.

Para el desarrollo de métodos de diseño de mezclas asfálticas, determinar la textura de la carpeta, tratamientos superficiales, entre otros, es necesario determinar la curva granulométrica la cual se define como la representación de los porcentajes de material que pasa por cada tamiz.



Foto 3. 2: Tamizadora Agregado grueso



Foto 3. 3: Tamizadora agregado Fino

Según MOP – 001- F 2002, afirma lo siguiente: En la mezcla de materiales, la granulometría deberá cumplir los requisitos indicados en la tabla siguiente:

Tabla 3. 1: Granulometría para mezcla en frío mezclado en planta.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	¾"	½"	3/8"	Nº4
1" (25.4 mm.)	100	--	--	--
¾" (19.0 mm.)	90 - 100	100	--	--
½" (12.7 mm.)	--	90 - 100	100	--
3/8" (9.50 mm.)	56 - 80		90 - 100	100
Nº 4 (4.75 mm.)	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100
Nº 8 (2.36 mm.)	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100
Nº 16 (1.18 mm.)	--	--	--	40 - 80
Nº 30 (0.60 mm.)	--	--	--	25 - 65
Nº 50 (0.30 mm.)	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40
Nº 100 (0.15 mm.)	--	--	--	3 - 20
Nº 200 (0.075 mm.)	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10

Fuente: MOP-001f 2002

Según el Manual Asphalt Institute, afirma lo siguiente: En la mezcla de materiales, la granulometría deberá cumplir los requisitos indicados en la tabla siguiente:

Tabla 3. 2: Agregados para mezclas con emulsión de granulometría cerrada

Tamaño del tamiz	Mat. semi-procesado de trituración, de cantera o de río	Granulometrias para Mezclas Asfálticas Cerradas, porcentaje pasante en peso				
50 mm (2 pulg.)	—	100	—	—	—	—
37.5 mm (1-1/2 pulg.)	100	90-100	100	—	—	—
25.0 mm (1 pulg.)	80-90	—	90-100	100	—	—
19.0 mm (3/4 in.)	—	60-80	—	90-100	100	—
12.5 mm (1/2 pulg.)	—	—	60-80	—	90-100	100
9.5 mm (3/8 pulg.)	—	—	—	80-80	—	90-100
4.75 mm (No. 4)	25-85	20-55	25-60	35-65	45-70	60-80
2.36 mm (No. 8)	—	10-40	15-45	20-50	25-55	35-65
1.18 mm (No. 16)	—	—	—	—	—	—
600 µm (No. 30)	—	—	—	—	—	—
300 µm (No. 60)	—	2-16	3-18	3-20	5-20	6-25
150 µm (No. 100)	—	—	—	—	—	—
75 µm (No. 200)	3-15	0-5	1-7	2-8	2-9	2-10
Equivalente de arena, en%	min. 30	min. 35	min. 35	min. 35	min. 35	min. 35
Ensayo Los Angeles, @500 rev.	—	máx. 40	máx. 40	máx. 40	máx. 40	máx. 40
Porcentaje de caras trituradas	—	min. 65	min. 65	min. 65	min. 65	min. 65

Fuente: Manual MS 19

3.2.2 Contenido de humedad natural de los agregados

Normas: ASTM C566-09, AASHTO T-55, INEN 862

Este ensayo tiene como objetivo determinar el contenido de agua de los suelos, es decir, la relación entre la masa de agua de poros y la masa de las partículas sólidas. Debe ser determinada en campo varias veces ya que el contenido de humedad varía de un momento a otro.

3.2.3 Desgaste de los agregados gruesos en la máquina de los Ángeles

Normas: ASTM C131-09, AASHTO T-96, INEN 860-861

Para determinar la degradación del agregado grueso mediante el impacto y desgaste se utiliza este ensayo. El agregado puede ser piedras machacadas, gravas sin machacar y machacadas.

El desgaste por abrasión del agregado, para usar en mezclas asfálticas, no debe ser mayor del 45%.



Foto 3. 4: Máquina de los ángeles.

3.2.4 Gravedad específica de los agregados

Normas: ASTM C29/C29M

Gravedad específica se define como la relación entre la masa de agregado seco y el peso de un volumen igual de agua, es decir, calcula los vacíos de los agregados.

Cuando las partículas son mayores que el tamiz #4 se realizará gravedad específica y absorción del agregado grueso, mientras que si se tiene partículas mayores y menores que el tamiz #4 se divide en dos la muestra y se ensaya cada parte, el valor total será el promedio de ambas.

Podemos determinar la gravedad específica seca en horno SH y relativa cuando el agregado esté seco, la gravedad específica saturada con superficie seca SSS, relativa y absorción cuando la muestra esté saturada.

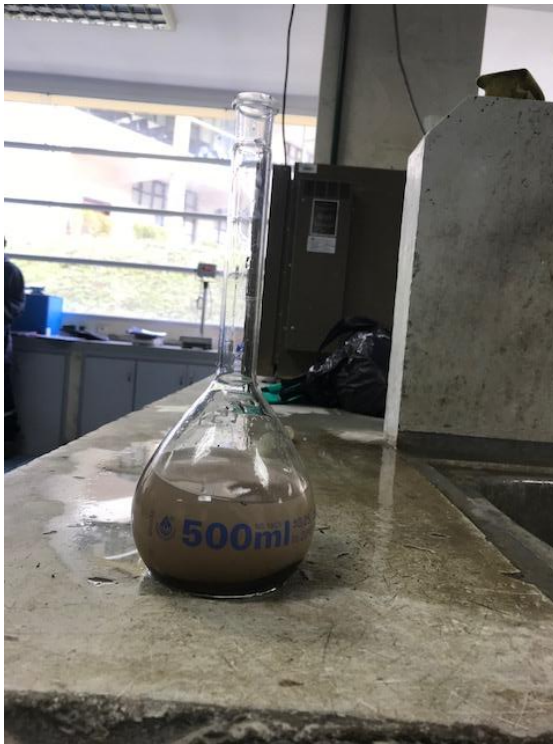


Foto 3. 5: Gravedad específica fino.

3.2.5 Durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos

Normas: ASTM C 88-09, AASHTO T-104, INEN 163

Este ensayo sirve para determinar la resistencia a la desintegración del agregado, por saturación, al sulfato de sodio o sulfato de manganeso. Se realiza este procedimiento para determinar el comportamiento del material cuando este sujeta a condiciones climáticas que pueden desgastarlo.

El desgaste del agregado a la acción de sulfato de sodio no debe exceder el 12% en pavimentos.



Foto 3. 6: Ensayo de durabilidad de los agregados a la acción de sulfatos.

3.2.6 Contenido orgánico de la arena

Normas: ASTM C 40-09, AASHTO T-21, INEN 855

Tiene como objetivo principal determinar las impurezas o contenido orgánico que puede haber en arenas naturales, debe ser ejecutado en la resistencia de morteros, hormigones y mezclas asfálticas. En base a la especificación C-33 debemos determinar la aceptabilidad del agregado fino.

3.2.7 Equivalente de arena

Normas: ASTM D 2419-09, AASHTO T-176, MOP E108.

Determina la cantidad de contenido de polvo fino o arcilla finos que puedan perjudicar al agregado, es usado en materiales que pasan el tamiz #4.

Según la norma ASTM D 2419-09 y AASHTO T-176, los valores mínimos son:

Tabla 3. 3: Valores mínimos del ensayo equivalente de arena.

		Equivalente de arena	
		Tráfico liviano y medio	Tráfico pesado
Capa de rodadura		45	50

Según ASTM D 4791-09, afirma: El porcentaje máximo en peso de partículas alargadas y achatadas retenidas en el tamiz #4 cuya relación entre dimensiones máximas y mínimas sea mayor a 5, no deberá ser mayor en un 10%.

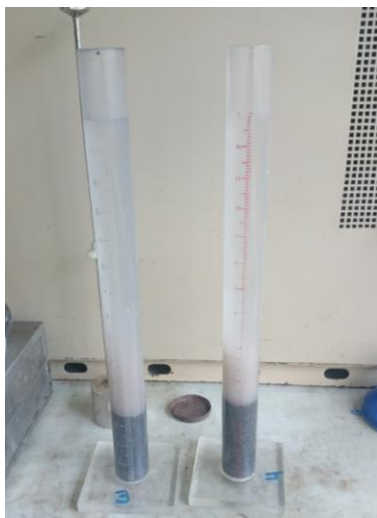


Foto 3. 7: Ensayo equivalente de arena.

3.3 Ensayos a los materiales bituminosos

3.3.1 Ensayos a la emulsión

3.3.1.1 Carga de partícula

NORMA: INEN 908



Foto 3. 8: Ensayo de carga de partícula

El equipo de ensayo de partícula consiste en dos electrodos un ánodo y cátodo que están conectados a un flujo eléctrico continuo que circula a una corriente de 8 mA. Se tiene una muestra de emulsión en el cual los electrodos van a ser sumergidos hasta que la corriente eléctrica baje a 2 mA o permanezca un tiempo de 30 minutos, lo que ocurra primero, este ensayo nos sirve para determinar si la emulsión es aniónica o catiónica, si es catiónica se hará una película gruesa de asfalto en el cátodo.

3.3.1.2 Estabilidad por medio del tamizado

NORMA: INEN 906



Foto 3. 9: Ensayo de estabilidad por medio del tamizado

Es una medida de la calidad de la emulsión, es un ensayo en el que se pasa la emulsión por el tamiz número 20 y se cuantifica la cantidad de glóbulos de asfalto que se hayan retenido. Esto nos indica si la emulsión ha tenido problemas en su fabricación y no han logrado que sea una solución homogénea y estable.

Especificación:

Minomo: 0

Máximo 0.1

3.3.1.3 Viscosidad

NORMA: INEN 1981



Foto 3. 10: Equipo de viscosidad

El manual MS-19 afirma que “La viscosidad es la resistencia de un líquido a fluir” (pág 23) . El ensayo de viscosidad se lo realiza mediante el ensayo de viscosidad de Saybolt Furol, según la norma INEN 1981, este ensayo se lo realiza para determinar un parámetro para establecer la uniformidad en el transporte y las fuentes de suministro de algunos productos derivados del petróleo y la medida de este ensayo es en segundos Saybolt Furol, mediante el paso de una muestra de emulsión a través de un orificio calibrado, bajo condiciones de temperatura controladas, en este caso 25°C.

Especificación:

Minomo: 20%

Máximo 100%

3.3.1.4 Residuo por evaporación

NORMAS: INEN 905



Foto 3. 11: Vasos en el horno, ensayo de residuo.

En este ensayo se determina el porcentaje de asfalto que tiene la emulsión, sometiendo a una muestra de emulsión a altas temperaturas para que se evapore el agua y sus componentes jabonosos y solo quede la fase de asfalto. Este ensayo se realiza mediante la toma de una muestra de emulsión en tres vasos de vidrio y se somete al calor de una estufa a una temperatura de $163 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Se determina los pesos iniciales y finales y se calcula el porcentaje de asfalto.

Especificación:

Minimo: 57%

Máximo 64%

3.3.1.5 Estabilidad a las 24 horas

NORMA: INEN 909

Mediante ensayo se determina la capacidad de una emulsión para permanecer como una dispersión estable, simulando su almacenamiento durante un periodo de 24h. Se lo realiza mediante la colocación de emulsión en un cilindro de vidrio y se realiza un ensayo de su residuo tomando una muestra tanto de la parte superficial y del fondo del cilindro. El resultado es la diferencia de estos residuos.

Especificación:

Minomo: 0%

Máximo 1%

3.3.1.6 Ensayo de asentamiento

NORMA: INEN 910

Este ensayo es similar al ensayo de estabilidad al almacenamiento con la única diferencia es que se mide el asentamiento que la emulsión ha tenido durante 5 días. De la misma manera se utilizan dos cilindros de vidrio con una muestra de emulsión y se los deja reposar si moverlos o agitarlos durante un periodo de 5 días y se procede a tomar una muestra de emulsión de la parte superior e inferior del cilindro, la diferencia de residuos será el resultado del ensayo.



Foto 3. 12: Ensayo de estabilidad al almacenamiento

Especificación:

Mínimo: 0%

Máximo 5%

3.3.2 Pruebas del residuo

3.3.2.1 Ensayo de penetración

NORMA: INEN 917

Este ensayo nos permite determinar la consistencia del residuo bituminoso de la emulsión, mediante la penetración de una aguja estándar normada que penetra la muestra bajo condiciones de tiempo, carga y temperatura controladas

Especificación:

Mínimo: 60

Máximo 70



Foto 3. 13: Muestra en el agua

3.3.2.2 Ductilidad

NORMA: INEN 916

Este ensayo nos permite determinar la ductilidad de un material bituminoso mediante el alargamiento de dos muestras y midiendo la distancia de estiramiento hasta su ruptura, este ensayo se realiza mediante condiciones de velocidad de 5 cm/ min y temperatura de 25°C.

Especificación:

Mínimo: 40



Foto 3. 14: Briquetas para ensayo de ductilidad.

CAPITULO IV: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON EL MÉTODO MARSHALL MODIFICADO.

4.1 Introducción

Bruce Marshall introdujo el concepto del método Marshall, el cual sirve para diseño de mezclas para pavimentación y verificar las condiciones de vacíos, estabilidad y flujo. Años después el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos se encargó de realizar investigaciones para desarrollarlo. En principio el método servía para mezclas en caliente únicamente, pero se pudo adaptar para mezclas en frío.

Según lo especifica ASTM D1559m, los equipos requeridos se basan en especímenes de prueba estándar de 64mm de alto y 102 mm de diámetro; se preparan para calentar, combinar y compactar mezclas de asfalto – agregado.

Es importante tomar en cuenta que se deben elaborar como mínimo tres muestras para evaluar sus características.



Foto 4. 1: Briquetas

4.1.1 Determinación de la gravedad específica

La Determinación de la gravedad específica se obtiene de las briquetas una vez que hayan sido curadas, en el ambiente por 24 horas y en el horno por 72 horas, se basa en tomar tres tipos de pesos; peso seco, peso sumergido, peso saturado con superficie seca SSS. El procedimiento a seguir es el siguiente, se debe tomar el peso de las briquetas secas, luego se deben introducir en agua a 25°C por cinco minutos y a continuación obtener el peso sumergido, por último, al sacarla del agua se debe eliminar el exceso para obtener el peso saturado con superficie seca.

4.1.2 Prueba de estabilidad y flujo

Se sumergen a las briquetas en baño María a 25°C por 30 minutos, este procedimiento se lo realiza después de haber obtenido la gravedad específica.

Se prepara el equipo y se procede a sacar a cada biqueta del baño María, se elimina el exceso del agua, se coloca la biqueta en la mordaza inferior y luego se coloca la superior, posteriormente se coloca en el aparato de carga para aplicar una carga constante de 51mm por minuto hasta que falle.

Según la norma ASTM D6927 – 06, para determinar la estabilidad cuando la condición de falla no está definida claramente, puede ser seleccionado como el punto de intersección en la curva con una tangente que ha sido trazada paralela (hacia la derecha) a la tangente proyectada de la parte lineal de la curva y separada 6 unidades de flujo o 1.5 mm. En donde la tangente proyectada corte, se traza una línea horizontal que indica la estabilidad de la biqueta y al trazar una línea vertical en ese mismo punto obtenemos el flujo.

4.1.3 Análisis de densidad y vacíos

El análisis de densidad y vacíos se basa en determinar la gravedad teórica máxima, el ensayo es realizado para cada serie de especímenes de prueba.

Una vez obtenida la estabilidad y el flujo, se procede a disgregar las briquetas para realizar el ensayo Rice, se prepara el baño María a 25°C y se pesa el equipo, se coloca el material disgregado en la olla y se coloca agua a 25°C hasta cubrir por completo la muestra, a continuación, se coloca la olla en el equipo y se remueve el aire atrapado, después se coloca en agua maría a 25°C hasta que la muestra tenga la misma temperatura, finalmente se procede a pesar.

En nuestro caso las partículas no estaban totalmente cubiertas, por tal razón se procedió a hacer el procedimiento suplementario en el cual la muestra debe ser expuesta a un ventilador y tomar pesos en intervalos de 15 minutos hasta que se obtenga superficie seca en la muestra.



Foto 4. 3: Briquetas disgregadas



Foto 4. 2: Equipo junto con la olla y mezcla



Foto 4. 4: Procedimiento suplementario.

4.2 Diseño de mezclas asfálticas con emulsión

El diseño de las mezclas se realizará con el método Marshall modificado, tratado anteriormente.

Según Cajas Vicente e Iglesias Andrés (2010), afirman que: Este método es recomendado para mezclas en carretera o en planta a temperaturas ambientales.

El contenido de agua de la mezcla es muy importante ya que influye en las propiedades de ella, es por ello que se deben hacer pruebas para determinar el contenido óptimo.

Para el diseño de la mezcla se realizan briquetas mediante las cuales se verifican las propiedades de la mezcla compactada, para tener resultados confiables se realizan tres briquetas con cada porcentaje de emulsión y asfíer para determinar el porcentaje óptimo de cada uno, luego se realizan seis briquetas con los valores óptimos obtenidos.



Foto 4. 5: Mezcla fría de asfalto – agregado.

4.2.1 Determinación del porcentaje de agua de mezclado o pre-envuelta

El agua de pre-envuelta fue determinada mediante pruebas al tanteo, tomando en cuenta que la muestra debe tener un aspecto húmedo, pero no debe exudar demasiado. Tomamos un peso de agua como inicial y respecto de este aumentamos o disminuimos la cantidad, por ejemplo, si tenemos cierta cantidad de agua %H₂O, las variaciones podrán ser; 1% + % H₂O, 2% + % H₂O, 1% - % H₂O y 2% - % H₂O.



Foto 4. 6: Mezcla del material con el agua de pre – envuelta.

4.2.2 Cálculo del porcentaje óptimo teórico de emulsión en una mezcla

Este porcentaje se determina en base al método establecido por el Instituto del Asfalto en Estados Unidos.

$$\% \text{Asfalto} = 0,035^a + 0,045b + kc + F$$

$$\% \text{Emulsión} = \% \text{Asfalto} / \% \text{Residuo}$$

Donde:

a = Porcentaje retenido en la malla #8.

b = porcentaje retenido entre las mallas #8 y #200.

c = Porcentaje menor a la malla #200

k = 0,15 si c está entre 11 y 15 %

0,18 si c está entre 6 y 10%

0,20 si c es menor a 5%

F = De 0 a 2.

Además, se determina el porcentaje óptimo de la emulsión según el valor de estabilidad más alto, flujo más bajo, densidad más alta y porcentaje de vacíos.



Foto 4. 7: Mezcla.

4.2.3 Elaboración de los especímenes

El peso total de los agregados, de diferentes tamaños, para formar los especímenes será de 1100 gr, a este peso se le añade la cantidad de agua óptima obtenida por tanteo y se debe mezclar hasta que haya uniformidad en la mezcla, luego se procede a colocar la emulsión asfáltica de tal manera que esta recubra el material.

Se preparan los moldes colocando aceite en ellos y se coloca papel filtro, se procede a colocar la mezcla y al final se coloca otro papel filtro para compactar.



Foto 4. 8: Colocación de la mezcla en el molde.

Se coloca el molde sobre el pedestal de compactación y este se ajusta para dar 50 golpes sobre la mezcla en ambas caras de la briqueta, la altura de caída es de 45,7 cm.



Foto 4. 9: Pedestal de compactación con el molde.

Una vez compactado se retira la base y la briqueta se queda en el molde por 24 horas, después de este tiempo se desmolda y se colocan las briquetas en el horno a 41 grados por 72 horas, es importante recalcar que para las briquetas que contienen emulsión 240, el curado en el horno debe ser de al menos 5 días ya que tienen un proceso más lento de evaporación de agua. Una vez curadas las briquetas se procede a tomar peso seco al aire, peso saturado con superficie seca y peso sumergido, luego se puede realizar la prueba de compresión simple para medir el esfuerzo que resiste la mezcla.



Foto 4. 10: Briqueta en el molde por 24 horas.

4.2.4 Prueba de estabilidad Marshall

Según Cajas Vicente e Iglesias Andrés (2010), afirman que: El método Marshall se emplea para el proyecto y control de mezclas elaboradas utilizando materiales pétreos con tamaño máximo de 25mm (1”) y emulsiones asfálticas que satisfagan los requisitos específicos de cada caso.

Las briquetas son sometidas a una velocidad de carga de 25 mm por minuto bajo condiciones desfavorables, para determinar la estabilidad y flujo, además de conocer su peso específico y porcentaje de vacíos.

4.2.5 Cálculo teórico del porcentaje óptimo de emulsión asfáltica



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
AREA DE PAVIMENTOS

Av. 12 de Octubre y Veintimilla E-mail gyanez@puce.edu.ec Telf: 2903798 : 2991700 EXT:1236

OBRA: Tesis de grado SOLICITA Reinoso - Quirola
CANTERA: Pífo
DESCRIPCIÓN: Mezcla de agregados para la elaboración de briquetas
FECHA: 6 de Julio 2017

MEZCLAS DE AGREGADOS

Tamiz #	1	3,4	1,2	3,8	4	8	30	50	100	200	p #200
Tz mm.	25,4	19	12,5	9,5	4,75	2,36	0,6	0,3	0,15	0,075	p 0,075
mat. A	100,00	100,00	86,71	49,82	4,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
mat. B	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	72,97	31,01	18,85	11,90	0,00	
mat. C	100,00	100,00	100,00	100,00	99,05	77,98	37,69	22,40	12,55	7,26	
mat. D	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
mezcla	100,00	100,00	94,68	79,93	61,34	46,79	22,61	13,44	7,53	4,36	
Ret.Ac.	0,00	0,00	5,32	20,07	38,66	53,21	77,39	86,56	92,47	95,64	4,36
Ret.Parc.	0,00	0,00	5,32	14,76	18,59	14,55	24,17	9,17	5,91	3,17	
% peso	0,00	0,00	58,48	162,32	204,49	160,05	265,91	100,91	65,01	34,91	
% acum.	0,00	0,00	58,48	220,79	425,28	585,33	851,25	952,16	1017,17	1052,08	1100,00
Espec mín	100	100	90	---	44	28	---	5	---	2	
Espec máx	100	100	100	---	74	58	---	21	---	10	

% DE MEZCLA		
A	0,40	40
B	0,00	0
C	0,60	60
D	0	0

Espec mín	100	100	90	67	44	28	10	5	3,5	2
Espec máx	100	100	100	90	74	58	30	21	15,5	10
Tz mm.	25,4	19	12,5	9,5	4,75	2,36	0,6	0,3	0,15	0,075

Observación: Material A = Material Grueso

Material B = Material

Intermedio

Material C = Material Fino

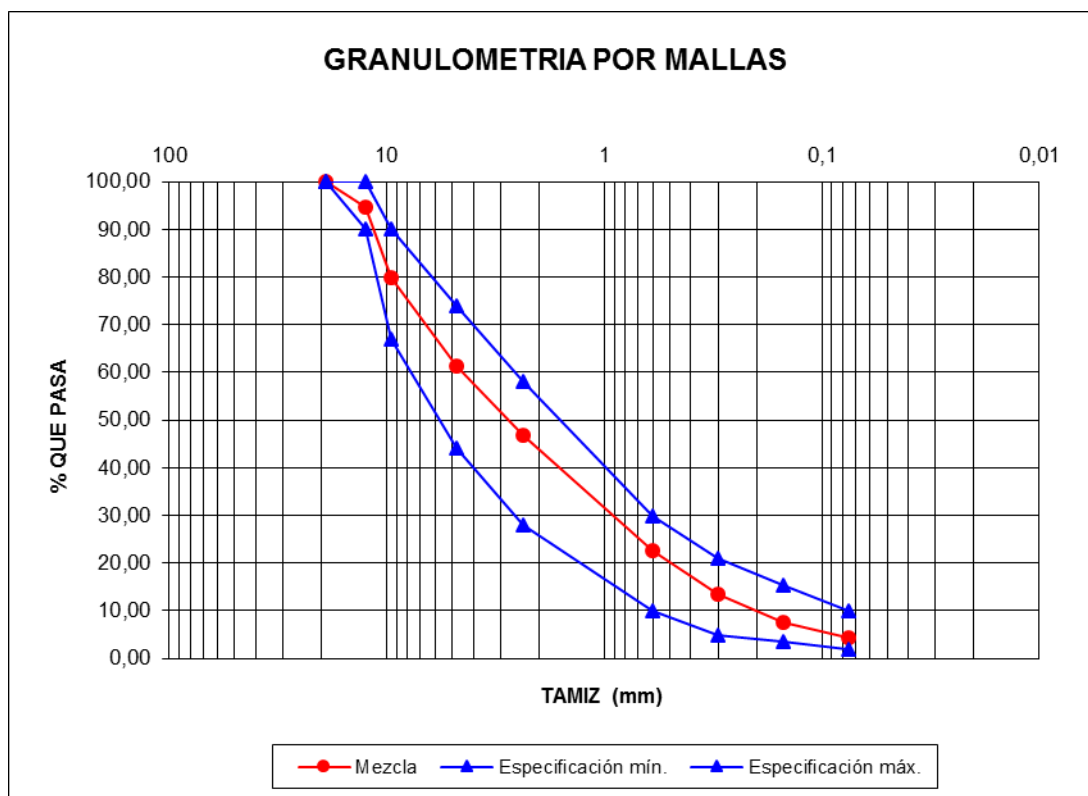
Especificaciones MOP - 001 - f Tabla 405.5.1

"1/2"

Cálculo del porcentaje de Emulsión Asfáltica teórica

G =	20,07	0,20072	M =	3,75 - 4,25
g =	18,59	0,18590		
A =	47,90	0,47898		
a =	9,08	0,09084		
f =	4,36	0,04356		

S = 8,16780 P (%) = 6,09



4.2.6 Cálculo práctico de la cantidad de emulsión asfáltica

Tabla 4. 1: Resultados de ensayo Marshall

% DE EMULSIÓN	GRAVEDAD BULK	ESTABILIDAD	FLUJO
8%	1,958	1842	16
9%	2,118	1952	18
10%	2,051	2136	18
11%	1,947	1908	19
12%	1,951	1751	16

	% DE EMULSIÓN
BULK	9,6
ESTABILIDAD	9,4
FLUJO	10,5
PROM :	9,83
%RESIDUO	60,4%
cemento asfáltico	5,94

Porcentaje de emulsión asfáltica a utilizarse en cada mezcla = 10%

4.2.7 Ensayo Marshall de la mezcla en frío con el porcentaje óptimo de la emulsión asfáltica

Tabla 4. 2: Ensayo de Briquetas con emulsión óptima.

% DE EMULSIÓN	ESTADO	GRAVEDAD BULK	ESTABILIDAD	FLUJO
10	Seco	1,969	1995	19
	Mojado	1,963	1199	17

4.3 Diseño de la mezcla en frío con 1%, 3% y 5% de adición de asfier 211

4.3.1 Determinación del agua de pre-envuelta

Se utilizó un porcentaje de agua previsto para este diseño que fue de 4.3% y se varió un porcentaje por encima y otro por debajo de este valor, se observó que la mezcla no posea exceso de agua para evitar la exudación de emulsión al momento de compactar y evitar tener una baja cantidad de agua la cual provoque que no se obtenga un buen recubrimiento de los agregados en la mezcla, también se busca que la emulsión no rompa de inmediato para que permita realizar una mezcla homogénea. El valor de agua que se utilizó para los tres porcentajes de variación de asfier fue de 3.3%, variando el 1, 3 y 5% de solución jabonosa. La razón por la cual se hizo pruebas de agua, fue debido a que, al utilizar mas solución jabonosa, la emulsión se comportaba mejor al ser mezclada con los agregados y no rompía de inmediato.



Foto 4.11.- agua con asfier.

Es decir que, para una briqueta de 1100 gr de agregado seco y 122.22 gr de emulsión correspondiente al 10%, se ha utilizado las siguientes proporciones de agua y de solución jabonosa:

Tabla 4. 3: Cantidad de asfier y agua colocado en la mezcla asfáltica con emulsión 211

Material	Porcentaje	Cantidad en gr
Agua	3,3 % (del % de agregado seco)	36.3
Asfier	1 % (del porcentaje de agua)	0.363
Asfier	3%	1.08
Asfier	5 %	1.81

4.3.2 Ensayo Marshall de las mezclas con asfier 211

Tabla 4. 4: Diseño de las mezclas asfálticas con asfier 211

% DE ASFIER	GRAVEDAD BULK	ESTABILIDAD	FLUJO
1%	2,024	2216	16
3%	2,082	2699	17
5%	2,078	2787	17

	% DE ASFIER
BULK	5
ESTABILIDAD	4
FLUJO	3
PROM :	4,00

Porcentaje de emulsión asfáltica a utilizarse en cada mezcla = 4%

4.4 Diseño de la mezcla en frío con 1%, 3%, 5% de adición de asfier 240

4.4.1 Determinación del agua de pre-envuelta

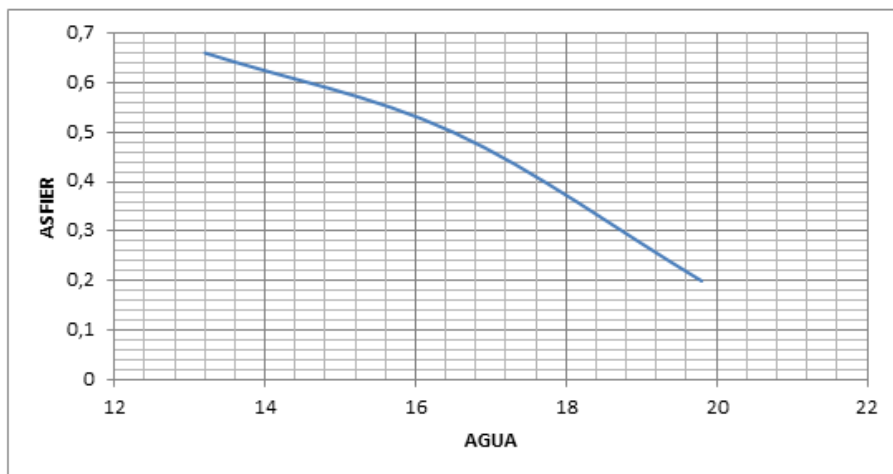
Para determinar el agua de pre- envuelta, se debe tomar en cuenta que el asfier 240 es una solución jabonosa que se comporta diferente al asfier 211, a pesar de que su ficha técnica nos indique que son utilizados para el mismo fin es decir son emulsificantes que nos dan emulsiones súper estables, se ha podido notar que la solución 240 posee diferentes características que el asfier 211, el emulsificante 240 nos brindó mayor tiempo de mezcla y nos permitió observar un mejor recubrimiento de los agregados, todo esto disminuyendo considerablemente la cantidad de agua de pre-envuelta por cantidad de asfier que se le añada, tal como se puede observar en la siguiente tabla. Se pudo observar que efectivamente mientras subía la proporción de asfier en el agua de pre-envuelta, más debía bajar la cantidad de agua.

En una cantidad de agregados de 1100 gr y emulsión de 122.22 gr, equivalente al 10% se tuvo los siguientes valores de asfier y de agua:

Tabla 4. 5: Cantidad de asfier y agua colocado en la mezcla asfáltica con emulsión 240

Material	Porcentaje	Gramos
Agua para asfier 1%	1.8 %	19.8
Agua para asfier 3%	1.5 %	16.5
Agua para asfier 5%	1.2 %	13.2
Asfier 1%	1 % (Respecto del porcentaje de agua)	0.2
Asfier 3%	3 % (Respecto del porcentaje de agua)	0.5
Asfier 5%	5 % (Respecto del porcentaje de agua)	0.66

Gráfico 4. 1: Asfier vs Agua.



Mientras aumenta la cantidad de asfier, la cantidad de agua disminuye.

4.4.2 Ensayo Marshall de las mezclas con emulsión 240

Tabla 4. 6: Diseño de las mezclas asfálticas con asfier 240

% DE ASFIER	GRAVEDAD BULK	ESTABILIDAD	FLUJO
1%	2,024	4349	22
3%	2,049	4112	22
5%	2,077	4629	20

	% DE ASFIER
BULK	5
ESTABILIDAD	5
FLUJO	5
PROM :	5,00

Porcentaje de emulsión asfáltica a utilizarse en cada mezcla = 5%

4.5 Cuadro comparativo de resultados de las mezclas

Tabla 4. 7: Cuadro comparativo entre mezclas con diferente emulsión

MEZCLA	% DE ASFIER	GRAVEDAD BULK	ESTABILIDAD lb	FLUJO
ÓPTIMO SIN ASFIER	0	1,969	1995	19
MEZCLAS CON ASFIER 211	1	2,024	2218	16
	3	2,082	2888	17
	5	2,078	2787	17
MEZCLAS CON ASFIER 240	1	2,024	4349	22
	3	2,049	4112	22
	5	2,077	4629	20

CAPITULO V: EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ÓPTIMA

5.1 Introducción

Para poder variar los porcentajes de emulsificantes en la mezcla asfáltica en frío, se realizó el diseño inicial sin ningún componente adicional. Una vez obtenido el porcentaje óptimo de asfalto que era necesario se realizó los diseños correspondientes adicionando diferentes porcentajes de emulsionante del 1 , 3 y 5 % tanto de asfier 211 y asfier 240.

Se ha procedido a realizar el ensayo de perdida de estabilidad por inmersión para cada diseño obtenido y también el ensayo de peladura para poder corroborar los resultados obtenidos, de igual manera con los porcentajes óptimos de emulsionante se realizó las mezclas correspondientes a la etapa de almacenamiento del producto.

Se determinó que para el emulsificante 211 el porcentaje óptimo fue del 4%, mientras que para el emulsificante 240 fue de 5%. Finalmente en este capítulo se comparará ambos diseños de mezclas bajo normas nacionales e internacionales para determinar su validez

Se pudo notar que al añadir una mínima cantidad de asfier se pudo obtener estabilidades muy altas en las briquetas, de una manera mucho más sencilla que añadiendo otros componentes adicionales a las mezclas tales como han sido escorias siderúrgicas o restos de elementos conformados por polímeros

5.2 Ensayo de Marshall Modificado

Se determinó ensaya la mezcla óptima bajo el ensayo de Marshall modificado, pero sometiendo los especímenes a condiciones extremas de temperatura, es decir realizando el ensayo de perdida de estabilidad por inmersión, sometiendo 3 de las briquetas a una temperatura extrema de 60°C por 22 horas a baño María y posteriormente para estabilizar su temperatura a 25°C se someten a baño maría por dos horas. Las otras 3 briquetas se las ensaya en seco totalmente y se comparan sus resultados.

Con este ensayo se nos permite identificar si la mezcla podrá ser sometida a condiciones externas traduciéndose en resultados de estabilidad y flujo

5.3 Ensayo de peladura por el Método del Hervido

Para que la mezcla de agregados tenga una buena adherencia con el asfalto, debe existir primordialmente fuerzas de atracción entre ambos, como se sabe la emulsión es principalmente catiónica por lo que los agregados deberán poseer carga negativa para que puedan tener una buena adherencia.

Para valorar la adherencia del asfalto con los agregados se realiza el ensayo de peladura que es un método cualitativo para determinar esta propiedad entre los agregados y el asfalto. Mediante este ensayo observaremos el porcentaje de la superficie de los agregados que han quedado descubiertos por el efecto del agua hirviendo.

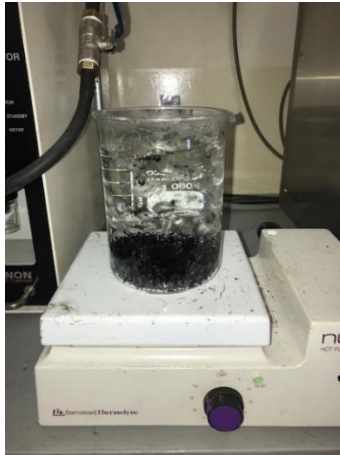


Foto 5. 1: Mezcla en agua en punto de ebullición.

Esta prueba es tan solo un indicador del comportamiento de la mezcla asfáltica, y con esto podremos determinar si se necesita algún tipo de aditivo que mejore el recubrimiento de la mezcla, así como también la reconsideración del cambio de agregados, pero como ya se ha mencionado este ensayo es empírico, los ensayos como Viali, ensayo de Inmersión- compresión entre otros, nos dan una mejor idea de la adhesividad que existe entre los agregados y el asfalto.

El ensayo consiste en despedazar una briqueta ya ensayada procurando que se vayan a ensayar trozos que estén cubiertos totalmente de asfalto. Se coloca en un recipiente suficiente agua que pueda cubrir la muestra y se la pone a hervir en una hornilla durante 10 minutos, posteriormente se desecha el agua y se observa la adherencia del asfalto en los agregados .

5.4 Diseño de la mezcla en frío con porcentaje óptimo de asfier 211

Para determinar el porcentaje óptimo de asfier 211 se realizaron tres briquetas con porcentajes de 1% 3% y 5% de asfier, y, se obtuvieron en total 9 briquetas, las cuales fueron ensayadas para determinar su flujo y estabilidad. El procedimiento para determinar el valor óptimo fue descrito en el capítulo 4 sección 4.4.3, cuyo valor eleva las propiedades mecánicas de la mezcla e incrementa su estabilidad.

Se obtuvieron 6 briquetas con el porcentaje óptimo de asfier, es decir 4 %, cuya finalidad es confirmar que las propiedades mecánicas de la mezcla sean las mejores y presenten mayores ventajas a las de tipo tradicional.

El diseño de la mezcla se basó en los siguientes componentes:

Tabla 5. 1: Diseño de mezcla con asfier 211 óptimo

Agua	36,3 gr
Asfier 4 %	1,464 gr
Emulsión	122,2 gr

5.4.1 Ensayo Marshall de la mezcla en frío con 4% de adición de asfíer 211.



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
AREA DE PAVIMENTOS

Av. 12 de Octubre y Veintimilla E-mail gyanez@puce.edu.ec Telf: 2903798 : 2991700 EXT:1236

OBRA: Tesis de grado
CANTERA: Pífo
DESCRIPCIÓN: Ensayo Marshall de la mezcla con el porcentaje óptimo de ASFIER 211

SOLICITA: Reinoso - Quirola
FECHA: 5 de Octubre 2017

Briqueta	%	PESO (gramos)				BULK	ESTABILIDAD (Kg)			Flujo
		Seca Aire	sss	En Agua	Volumen		Medida	F.C.	Corregida	
	ASFIER	d		f	V		q	e	s	t
					e-f	d/v				1/100"
Briquetas ensayadas en seco										
1		1137,88	1158,97	555,84	603,13	1,887	2750	0,78	2145	22
2	4,0	1151,48	1163,07	594,39	568,68	2,025	1600	0,86	1376	18
3		1150,91	1155,08	600,98	554,10	2,077	3700	0,89	3293	16
PROM						1,996			2271	19
Briquetas ensayadas en agua										
4		1138,98	1143,70	590,63	553,07	2,059	1450	0,89	1291	18,5
5	4,0	1142,80	1147,27	592,00	555,27	2,058	1350	0,89	1202	17,5
PROM						2,059			1246	18

Nota: Al momento de ensayar la tercera briqueta en agua, la máquina no brindó el resultado requerido por problema de la misma.

5.4.2 Ensayo de peladura de la mezcla con porcentaje óptimo de asfier 211



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
AREA DE PAVIMENTOS

Av. 12 de Octubre y Veintimilla E-mail gyanez@puce.edu.ec Telf: 2903798 : 2991700 EXT:1236

OBRA: Tesis de grado
EMULSIÓN: Chova Ecuador

SOLICITA: Reinoso - Quirola

DESCRIPCIÓN: Ensayo de peladura de la mezcla en frio con porcentaje óptimo de asfier 211

El porcentaje de cobertura es 100%, no hubo pérdida de adhesión.



Foto 5. 2: Mezcla óptima 211 antes de ser sometida al ensayo de peladura.



Foto 5. 3: Mezcla óptima 211 después de ser sometida al ensayo de peladura

5.5 Diseño de la mezcla en frío con porcentaje óptimo de asfier 240

Para determinar el porcentaje óptimo de asfier 240 se realizaron tres briquetas con porcentajes de 1% 3% y 5% de asfier, es decir, se obtuvieron en total 9 briquetas, las cuales fueron ensayadas para determinar su flujo y estabilidad. El procedimiento para determinar el valor óptimo fue descrito en el capítulo 4 sección 4.4.2, cuyo valor eleva las propiedades mecánicas de la mezcla e incrementa su estabilidad.

Se obtuvieron 6 briquetas con el porcentaje óptimo de asfier, es decir 5%, cuya finalidad es confirmar que las propiedades mecánicas de la mezcla sean las mejores y presenten mayores ventajas a las de tipo tradicional.

El diseño de la mezcla se basó en los siguientes componentes:

Tabla 5. 2: Diseño de mezcla con asfier 211 óptimo

Agua	13,2 gr
Asfier 5%	0,66 gr
Emulsión	122,2 gr

Las briquetas óptimas 240 son muy delicadas, es por eso que su curado es especial, como se indicó anteriormente, necesitan mayor tiempo de curado en horno.

Las 6 briquetas deben ser ensayadas de tal manera que 3 sean en seco y las otras 3 en agua, es decir, deben pasar 22 horas en agua a 60°C y 2 horas más a 25°C.

A continuación, se detalla los resultados obtenidos en el ensayo Marshall modificado a las briquetas óptimas, pero antes es importante aclarar que al colocar las 3 muestras en el agua a 60°C estas se derritieron en su totalidad, es decir, no soportaron el calor y por lo tanto no se pudo realizar el ensayo de Marshall modificado.

5.5.1 Ensayo Marshall de la mezcla en frío con 5% de adición de asfier 240



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
AREA DE PAVIMENTOS

Av. 12 de Octubre y Veintimilla E-mail: gyanez@puce.edu.ec Telf: 2903798 : 2991700 EXT:1236

OBRA: Tesis de grado
CANTERA: Pífo
DESCRIPCIÓN: Ensayo Marshall de la mezcla con el porcentaje óptimo de ASFIER 240

SOLICITA Reinoso - Quirola
FECHA: 5 de Octubre 2017

Briqueta	%	PESO (gramos)					ESTABILIDAD (Kg)			Flujo
		Seca Aire	sss	En Agua	Volumen	BULK	Medida	F.C.	Corregida	
		d		f	V		q	e	s	
	ASFIER				e-f	d/v				1/100"
Briquetas ensayadas en seco										
1		1111,38	1129,50	589,30	540,20	2,057	3700	0,93	3441	14
2	5,0	1122,39	1140,40	598,70	541,70	2,072	3050	0,93	2837	16,5
PROM						2,065			3139	15
Briquetas ensayadas en agua										
4		1172,07	1189,39	613,58	575,81	2,036	Briquetas derretidas.			
5	5,0	1153,54	1179,19	596,00	583,19	1,978				
6		1112,60	1135,23	592,03	543,20	2,048				
PROM						2,007			0	

Briquetas derretidas.



Foto 5. 4: Briquetas en baño María derretidas



Foto 5. 5: Briquetas desechas

5.5.2 Ensayo de peladura de la mezcla en frío con porcentaje óptimo de asfier 240



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
AREA DE PAVIMENTOS

Av. 12 de Octubre y Veintimilla E-mail gyanez@puce.edu.ec Telf: 2903798 : 2991700 EXT:1236

OBRA: Tesis de grado
EMULSIÓN: Chova Ecuador

SOLICITA: Reinoso - Quirola

DESCRIPCIÓN: Ensayo de peladura de la mezcla en frío con porcentaje óptimo de asfier 240

El porcentaje de cobertura es mayor al 90%, no hubo pérdida de adhesión.



Foto 5. 6: Mezcla óptima 240 antes de ser sometida al ensayo de peladura.



Foto 5. 7: Mezcla óptima 240 después de ser sometida al ensayo de peladura

5.6 Pruebas de almacenamiento a las 4 semanas (estabilidad y flujo)

La prueba de almacenamiento nos permite determinar si al pasar el tiempo las condiciones mecánicas y físicas de la mezcla han cambiado.

Se realizaron 12 mezclas con las siguientes cantidades óptimas:

Tabla 5. 3: Dosificación para prueba de almacenamiento con asfier 211

240	
Agua	13.2 gr
<u>Asfier 5%</u>	0,66 gr
Emulsión	122,2 gr

Tabla 5. 4: Dosificación para prueba de almacenamiento con asfier 211

211	
Agua	36.3 gr
<u>Asfier 4%</u>	1.46 gr
Emulsión	122,2 gr

Las mezclas se almacenarán durante 4 semanas, cada semana se realizarán 3 briquetas, siguiendo el procedimiento de curado y rotura.

5.6.1 Prueba de almacenamiento mezcla en frío óptima 211 y 240, primera semana.

Ensayo Marshall de la mezcla en frío con 4% de adición de asfíer 211



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
AREA DE PAVIMENTOS

Av. 12 de Octubre y Veintimilla E-mail gyanez@puce.edu.ec Telf: 2903798 : 2991700 EXT:1236

OBRA: Tesis de grado
CANTERA: Pifo

SOLICITA: Reinoso - Quirola

DESCRIPCIÓN: Ensayo Marshall de la mezcla con el porcentaje
óptimo de ASFIER 211, almacenada una semana.

FECHA: 11/10/2017

Briqueta	%	PESO (gramos)				BULK	ESTABILIDAD (Kg)			Flujo
		Seca Aire	sss	En Agua	Volumen		Medida	F.C.	Corregida	
	ASFIER	d		f	V		q	e	s	t
					e-f	d/v				1/100"
1		1159,59	1164,62	569,03	595,59	1,947	2350	0,81	1904	21
2	4,0	1164,82	1169,64	567,67	601,97	1,935	2440	0,78	1903	13,3
3		1155,32	1160,90	568,31	592,59	1,950	2630	0,81	2130	14,5
PROM						1,944			1979	16

Ensayo Marshall de la mezcla en frío con 5% de adición de asfíer 240



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
AREA DE PAVIMENTOS

Av. 12 de Octubre y Veintimilla E-mail gyanez@puce.edu.ec Telf: 2903798 : 2991700 EXT:1236

OBRA: Tesis de grado
CANTERA: Pifo

SOLICITA: Reinoso - Quirola

DESCRIPCIÓN: Ensayo Marshall de la mezcla con el porcentaje
óptimo de ASFIER 240, almacenada una semana.

FECHA: 11/10/2017

Briqueta	%	PESO (gramos)				BULK	ESTABILIDAD (Kg)			Flujo
		Seca Aire	sss	En Agua	Volumen		Medida	F.C.	Corregida	
	ASFIER	d		f	V		q	e	s	t
					e-f	d/v				1/100"
4		1179,20	1189,32	601,99	587,33	2,008	2730	0,81	2211	16
5	5,0	1174,52	1179,10	600,53	578,57	2,030	2750	0,83	2283	21,4
6		1201,20	1211,63	610,39	601,24	1,998	2450	0,78	1911	17
PROM						2,012			2135	18

5.6.2 Prueba de almacenamiento mezcla en frío óptima 211 y 240, segunda semana.

Ensayo Marshall de la mezcla en frío con 4% de adición de asfíer 211

Pontificia Universidad Católica del Ecuador AREA DE PAVIMENTOS

Av. 12 de Octubre y Veintimilla E-mail gyanez@puce.edu.ec Telf: 2903798 : 2991700 EXT:1236

OBRA: Tesis de grado
CANTERA: Pífo

SOLICITA: Reinoso - Quirola

DESCRIPCIÓN: Ensayo Marshall de la mezcla con el porcentaje óptimo de ASFIER 211, almacenada dos semanas.

Briqueta	%	PESO (gramos)				BULK	ESTABILIDAD (Kg)			Flujo
		Seca Aire	sss	En Agua	Volumen		Medida	F.C.	Corregida	
	ASFIER	d		f	V		q	e	s	t
					e-f	d/v				1/100"
4		1160,97	1206,92	609,51	597,41	1,943	1840	0,81	1490	15
5	5,0	1133,00	1182,19	593,59	588,60	1,925	1800	0,81	1458	17
6		1158,15	1186,48	615,97	570,51	2,030	2750	0,86	2365	16
PROM						1,966			1771	16

Ensayo Marshall de la mezcla en frío con 5% de adición de asfíer 240

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
AREA DE PAVIMENTOS

Av. 12 de Octubre y Veintimilla E-mail gyanez@puce.edu.ec Telf: 2903798 : 2991700 EXT:1236

OBRA: Tesis de grado

SOLICITA: Reinoso - Quirola

CANTERA: Pífo

DESCRIPCIÓN: Ensayo Marshall de la mezcla con el porcentaje ópyimo
de ASFIER 240, almacenada dos semanas.

Briqueta	%	PESO (gramos)				BULK	ESTABILIDAD (Kg)			Flujo
		Seca Aire	sss	En Agua	Volumen		Medida	F.C.	Corregida	
	ASFIER	d		f	V		q	e	s	t
					e-f	d/v				1/100"
1		1074,83	1084,00	542,52	541,48	1,985	2530	0,93	2353	20,5
2	4,0	1048,19	1061,23	544,44	516,79	2,028	2180	1,00	2180	20,7
3		1177,99	1197,83	585,03	612,80	1,922	2150	0,76	1634	19,8
PROM						1,979			2056	20

5.6.3 Prueba de almacenamiento mezcla en frío óptima 211 y 240, tercera semana.

Ensayo Marshall de la mezcla en frío con 4% de adición de asfier 211

Pontificia Universidad Católica del Ecuador AREA DE PAVIMENTOS

Av. 12 de Octubre y Veintimilla E-mail gyanez@puce.edu.ec Telf: 2903798 : 2991700 EXT:1236

OBRA: Tesis de grado
EMULSIÓN: Chova Ecuador

SOLICITA: Reinoso - Quirola

DESCRIPCIÓN: Ensayo Marshall de la mezcla con el porcentaje óptimo de asfier 211, almacenada tres semanas

Briqueta	%	PESO (gramos)					ESTABILIDAD (Kg)			Flujo
		Seca Aire	sss	En Agua	Volumen	BULK	Medida	F.C.	Corregida	
	ASFIER	d		f	V		q	e	s	t
					e-f	d/v				1/100"
1		1115,09	1127,90	596,50	531,40	2,098	2150	0,81	1742	14
2	4,0	1113,12	1129,17	591,00	538,17	2,068	2230	0,78	1739	14
3		1172,35	1185,99	596,45	589,54	1,989	2200	0,81	1782	13
PROM						2,052			1754	14

Ensayo Marshall de la mezcla en frío con 5% de adición de asfier 240

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
AREA DE PAVIMENTOS

Av. 12 de Octubre y Veintimilla E-mail gyanez@puce.edu.ec Telf: 2903798 : 2991700 EXT:1236

OBRA: Tesis de grado
CANTERA Pifo

SOLICITA: Reinoso - Quirola

Ensayo Marshall de la mezcla con el porcentaje óptimo de asfier 240, almacenada
DESCRIPCIÓN: tres semanas

Briqueta	%	PESO (gramos)				BULK	ESTABILIDAD (Kg)			Flujo
		Seca Aire	sss	En Agua	Volumen		Medida	F.C.	Corregida	
	ASFIER	d		f	V		q	e	s	t
					e-f	d/v				1/100"
4		1157,70	1176,33	596,50	579,83	1,997	2300	0,83	1909	15,5
5	5,0	1130,52	1154,91	591,00	563,91	2,005	2200	0,86	1892	20
6		1157,36	1183,43	596,45	586,98	1,972	2450	0,81	1985	13
PROM						1,991			1929	16

5.6.4 Prueba de almacenamiento mezcla en frío óptima 211 y 240, cuarta semana.

Ensayo Marshall de la mezcla en frío con 4% de adición de asfíer 211

Pontificia Universidad Católica del Ecuador AREA DE PAVIMENTOS

Av. 12 de Octubre y Veintimilla E-mail gyanez@puce.edu.ec Telf: 2903798 : 2991700 EXT:1236

OBRA: Tesis de grado
EMULSIÓN: Chova Ecuador

SOLICITA: Reinoso - Quirola

Ensayo Marshall de la mezcla con el porcentaje óptimo de asfíer 211, almacenada
DESCRIPCIÓN: cuatro semanas

Briqueta	%	PESO (gramos)			Volumen	BULK	ESTABILIDAD (Kg)			Flujo
		Seca Aire	sss	En Agua			Medida	F.C.	Corregida	
	ASFIER	d		f	V		q	e	s	t
					e-f	d/v				1/100"
1		1117,08	1128,91	596,50	532,41	2,098	2000	0,93	1860	21
2	4,0	1115,14	1131,15	591,00	540,15	2,065	1700	0,93	1581	17
3		1174,31	1187,94	596,45	591,49	1,985	2000	0,81	1620	14
PROM						2,049			1687	17

Ensayo Marshall de la mezcla en frío con 5% de adición de asfier 240

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
AREA DE PAVIMENTOS

Av. 12 de Octubre y Veintimilla E-mail gyanez@puce.edu.ec Telf: 2903798 : 2991700 EXT:1236

OBRA: Tesis de grado
EMULSIÓN: Chova Ecuador

SOLICITA: Reinoso - Quirola

Ensayo Marshall de la mezcla con el porcentaje óptimo de asfier 240, almacenada
DESCRIPCIÓN: cuatro semanas

Briqueta	%	PESO (gramos)				BULK	ESTABILIDAD (Kg)			Flujo
		Seca Aire	sss	En Agua	Volumen		Medida	F.C.	Corregida	
	ASFIER	d		f	V		q	e	s	t
					e-f	d/v				1/100"
4		1159,72	1178,35	596,50	581,85	1,993	2300	0,83	1909	13
5	5,0	1132,52	1156,91	591,00	565,91	2,001	2125	0,86	1828	19
6		1159,36	1185,43	596,45	588,98	1,968	2300	0,81	1863	13,5
PROM						1,988			1867	15

CAPITULO VI: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE COSTOS COMPARATIVOS ENTRE MEZCLAS EN FRIO Y MEZCLAS EN FRIO CON LA UTILIZACIÓN DE ASFIER 211 Y 240

6.1 Análisis comparativo entre mezclas en frío y mezclas en frío con la utilización de asfier 240 y 211

	Resultados obtenidos en laboratorio			Normas MOP-001-F-2002 (Tráfico medio)	Diseño Marshall Modificado, Método Illinois	Asphalt Institute
	0% de asfier	4% de asfier 211	5% asfier 240			
Estabilidad, (lb) al aire	1995	2271	3139	1200	min 750	min 2224
Estabilidad, (lb) saturado	1119	1246	0	1200	min 750	-----
Estabilidad perdida, %	43	45	100	-----	máx 50%	máx 50%
Cubrimiento del agregado, %	100	100	100	-----	min 95%	min 50%
Flujo, al aire	19	19	15	min 8 máx 18	min 8 máx 18	-----
Flujo, saturado	17	18	0	min 8 máx 18	min 8 máx 18	-----
Vacíos totales, %	18	12	18	-----	min 3 máx 18	-----

6.2 Análisis de costos de mezclas en frío.

Debido a que se han realizado los estudios necesarios en laboratorio para poder mejorar una mezcla asfáltica en frío, lo ideal es que esta implementación se pueda ocupar en obra ya que como se pudo observar en los resultados obtenidos, se mejoró las características físicas y mecánicas de la mezcla tanto en apariencia, recubrimiento y estabilidad, por lo que se ha decidido hacer una comparación de costos entre el nuevo producto y una mezcla en frío tradicional.

Para este ejemplo tomaremos un tramo de vía a ser pavimentada, supondremos que vamos a construir una vía de 100m de longitud y que en la estructura del pavimento la capa de rodadura corresponde a 8cm, la vía es de un solo carril, y tiene un ancho de 4 metros. Las variantes como equipo, mano de obra y el tratamiento posterior no serán tomadas en cuenta.

El asfíer añadido en el agua de pre-envuelta es sencilla de transportar y colocar en la mezcla , por lo que no se considera un costo extra de transporte.

Todos los precios que han sido consultados, son precios actualizados y fueron proporcionados por:

- Material pétreo: Planta Holcim Pifo
- Agua: EMMAP-Q.
- Emulsión asfáltica: Chova del Ecuador.
- Emulsionante: Quimi-kao mediante Chova del Ecuador

6.2.1 Análisis de costos unitarios de mezcla asfáltica en frio con asfier 211

Mezcla con adición de 4% de emulsionante				
Item	Descripción	Cantidad (A)	Precio unitario (B)	Costo parcial (A*B)
Mezcla de agregados	Incluye transporte	32 m3	USD/m3	480
Agua de preenvuelta	3,3 % del peso de los agregados	1,056 m3	0,32 USD/m3	0,34
Emulsión asfáltica	10 % del peso de los agregados	3,2 m3	330, 25 USD/m3	1056,70
Emulsionante asfier 211	4% del peso de agua de preenvuelta	42,24 kg	3,60 USD/ kg	152,04
Costo total en USD = 1689, 078				

6.2.2 Análisis de costos unitarios de mezcla asfáltica en frio con asfier 240

Mezcla con adición de 5% de emulsionante				
Item	Descripción	Cantidad (A)	Precio unitario (B)	Costo parcial (A*B)
Mezcla de agregados	Incluye transporte	32 m3	15 USD/m3	480
Agua de preenvuelta	1,2 % del peso de los agregados	0,384 m3	0,32 USD/m3	0,13
Emulsión asfáltica	10 % del peso de los agregados	3,2 m3	330,25 USD/m3	1056,8
Emulsionante asfier 240	5% del peso de agua de preenvuelta	19,20 kg	4,15 USD/kg	79,68
Costo total en USD = 1616,60				

6.2.3 Análisis de costos unitarios de mezcla asfáltica en frío sin la utilización de asfíer 211

Mezcla sin adición de emulsionante 211			
Item	Descripción	Cantidad (A)	Precio unitario (B)
Mezcla de agregados	Incluye transporte	32 m3	480 USD/m3
Agua de preenvuelta	4,3 % del peso de los agregados	1,376 m3	0,44 USD/m3
Emulsión asfáltica	10 % del peso de los agregados	3,2 m3	1056,80 USD/m3
		Costo total en USD = 1537,24	

CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- ❖ Los agregados cumplen con los requerimientos expuestos en la normativa MOP-001f- 2002 con los siguientes resultados:

ENSAYO	LÍMITE MAX	LÍMITE MIN	Resultado obtenido	Observación
Abrasión en la máquina de los Ángeles	40%		23,36%	Cumple
Desintegración por sulfato de magnesio	15%		13,14%	Cumple
Recubrimiento de la emulsión en agregados		95%	100%	Cumple
Equivalente de arena		45%	98.63%	Cumple

- ❖ La emulsión cumple con los requerimientos de la norma INEN 2062 con los valores expuestos en la siguiente tabla:

Característica a inspeccionar	Unid	Especificación		Resultados obtenidos	Observaciones
		Mín.	Máx.		
Residuo por Destilación	%	57	64	60,62	Cumple
Carga de Partículas	-	Positiva		Positivo	Cumple
Asentamiento 5 días	%	-	5	0,51	Cumple
Estabilidad de almacenamiento 24 horas	%	0	1	0,29	Cumple
Penetración en el Residuo	$\frac{1}{10}$ mm	40	90	45,6	Cumple
Prueba del Tamiz Nº 20	%	-	0.1	0,013	Cumple
Viscosidad Saybolt Furol	SSF	20	100	22,47	Cumple



- ❖ La resistencia con la emulsión óptima en cuanto su estabilidad y flujo aumentó y disminuyó respectivamente, es decir los objetivos de la presente tesis fueron satisfactorios como se puede observar en la tabla de control de calidad de las mezclas con emulsión asfáltica en el capítulo 6 apartado 6.1. Se puede observar que cumple con los requerimientos de la normativa vigente de la MOP-001f- 2002 y así como también con las recomendaciones de manual MS 19 a pesar de que el flujo se encuentra en el límite.
- ❖ Como se indicó en el capítulo 5 apartado 5.6, las muestras óptimas 211 y 240 fueron almacenadas por 4 semanas. Como se puede observar en la siguiente tabla, para resultados de la emulsión 211, la estabilidad se redujo progresivamente semana tras semana, teniendo una pérdida del 26% al mes de haber sido almacenada la mezcla. El flujo se mantuvo en 16 durante tres semanas, y solo bajo en la tercera semana, esto nos indica que tanto para la estabilidad como para el flujo se mantendrá dentro de las especificaciones mostradas durante su mes de almacenamiento.

	211		Normas MOP-001-f-2002		Diseño MarshallModificado, Método Illinois	
Semana	Estabilidad (lb)	flujo (")	Estabilidad (lb)	flujo (")	Estabilidad (lb)	flujo (")
Sin almacenamiento	2271	19	1200	min 8 - máx 18	min 750	min 8- máx 18
1	1979	16				
2	1771	16				
3	1754	14				
4	1687	16				

La emulsión 240 tuvo mejores resultados de estabilidad que la emulsión 211 y semana tras semana de igual manera se redujo progresivamente su estabilidad, teniendo una pérdida del 40% aproximadamente al mes de almacenamiento. el flujo se mantuvo durante tres semanas en 18 décimas de pulgada y decayó a

15 en la última semana y cabe recalcar que todos resultados obtenidos cumplen con las especificaciones impuestas por MOP-001-F-2002 (Tráfico medio), Diseño Marshall Modificado y Método Illinois.

	240		Normas MOP-001-f-2002		Diseño Marshall Modificado, Método Illinois	
Semana	Estabilidad (lb)	flujo (")	Estabilidad (lb)	flujo (")	Estabilidad (lb)	flujo (")
Sin almacenamiento	3139	19	1200	min 8 - máx 18	min 750	min 8- máx 18
1	2135	18				
2	2056	18				
3	1929	18				
4	1867	15				

- ❖ Al utilizar dos tipos de emulsiones diferentes y por lo tanto 2 tipos de asfíer, podemos determinar lo siguiente; la estabilidad de las mezclas que contienen el porcentaje óptimo 240 han elevado su resistencia en aproximadamente 30% en relación al valor de estabilidad de la mezcla 211 óptima en seco, pero no han podido soportar las condiciones saturadas, es decir, condiciones críticas a las cuales resistieron las briquetas 211, se debe recalcar que este tipo de mezcla (211) también presentan buena estabilidad seca, aproximadamente en un 53% más arriba de la especificación límite (1200) , por otro lado, en condiciones críticas, saturadas, el valor está 4% por encima del valor mínimo especificado (211), por tal razón la mezcla óptima es 211 con 4% de asfíer.
- ❖ Para determinar el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica se realizaron tres briquetas con porcentajes de 8% 9% 10% 11% 12%, en total 15. En el capítulo 4 apartado 4.2.6 se indican los parámetros que se utilizaron para determinar el valor óptimo, el cual es 10%.

- ❖ Para determinar el porcentaje óptimo de emulsión y asfier 211 se realizaron 3 briquetas con diferentes porcentajes de asfier 1%, 3% y 5%, en total 6. Determinar el valor óptimo fue muy parecido al de la emulsión óptima, se basó en 3 parámetros; gravedad Bulk, estabilidad y flujo, En el capítulo 4 apartado 4.3.3 se indica cómo se obtuvo el resultado óptimo el cual es 4%.
- ❖ Se realizaron 3 briquetas con diferentes porcentajes de asfier 240, al igual que en la mezcla 211, 1%, 3% y 5%, en total 6; de las cuales se determinó su estabilidad, flujo y gravedad específica para determinar el valor óptimo 240 de 5%. En el capítulo 4 apartado 4.4.3 se indica el procedimiento realizado.
- ❖ Después de realizar el ensayo para determinar el porcentaje de vacíos a cada briqueta óptima de 211 y 240 se ha obtenido que al añadir asfier 211 la briqueta disminuye sus vacíos respecto de aquella que tiene 0% de asfier. Caso contrario sucede con asfier 240 ya que aquí los vacíos se mantienen igual, pero en ambos casos se cumple con la especificación dada por Diseño Marshall Modificado, Método Illinois. En conclusión, podemos decir que la utilización de asfier 211 llena la mayoría de vacíos por tal razón existe mayor resistencia bajo condiciones de humedad como se puede observar en el capítulo 4 apartado 4.5.
- ❖ Al finalizar el análisis entre los resultados obtenidos de las briquetas con 0% de asfier, 4% de asfier 211 y 5% de asfier 240 podemos determinar que al añadir este componente se ha mejorado las características mecánicas de la mezcla pudiendo ser utilizadas en lugares donde existan mayores cargas o tráfico más pesado.

- ❖ Cuando se obtuvieron las primeras briquetas óptimas 211 y 240, tuvieron un procedimiento de curado tradicional, es decir, 24 horas en el molde y 72 horas en el horno; cuando las briquetas fueron ensayadas la estabilidad las mismas fue demasiado baja y el flujo muy alto llegando a tener resistencias de hasta 700lb y flujo de hasta 21. Decidimos repetir las briquetas brindándoles un mayor tiempo de curado lo cual aumento la estabilidad y disminuyó el flujo de ellas cuyos resultados han sido presentados a lo largo de la presente tesis. En Conclusión, para briquetas cuya mezcla óptima sea 211 se podría dar un curado de 24 horas en el molde y 96 horas en el horno, mientras que para las óptimas 240 se podría dejar 24 horas en el molde y 120 horas en el horno.
- ❖ Se puede concluir del análisis de precios unitarios, que al utilizar asfier 211 tenemos un incremento de precio del 10% y un incremento del 5% al utilizar asfier 240 con respecto al costo de la mezcla asfáltica en frío sin la adición de asfier.
- ❖ Al analizar todas las ventajas en cuanto tiempo de mezcla, recubrimiento, cohesión, estabilidad, flujo y la fácil implementación de la solución jabonosa al gua de pre-envuelta podemos concluir que es una buena opción para mejorar una mezcla en frío

7.2 Recomendaciones

Para poder obtener un dato más certero del agua de pre-envuelta se realizó pruebas de agua, se analizó en estas pruebas la capacidad de recubrimiento de la emulsión a los agregados y la cantidad de agua que exudaba la briqueta al ser compactada, se tomó los valores típicos recomendados de agua de pre- envuelta que se encuentran en un rango de 3% a 8%. Como se puede observar, al aumentar la cantidad extra de emulsionante se rebaja la cantidad de agua que se necesita en la mezcla. Por tal razón los resultados fueron los siguientes:

Mezcla	Porcentaje de agua por peso de agregado seco
Sin asfier	4,3%
Con asfier 211	3,3%
Con asfier 240	1,2%

- ❖ El proceso de curado es muy importante ya que de esto depende la resistencia de la mezcla y la reacción de las mismas ante solicitudes externas. Se recomienda determinar cuál es el tiempo de curado necesario para cada mezcla, en el caso de que tenga un componente extra añadido, realizado pruebas y tener en cuenta los días recomendados por ASTM o Asphalt Insistute.

- ❖ La susceptibilidad a la humedad en las briquetas es un factor que afecta su resistencia o puede llegar a desintegrarlas en condiciones climáticas desfavorables. Es por eso que se recomienda se verifique el valor de pérdida de estabilidad según lo establecido por Asphalt Institute y de esta manera descartar mezclas o imponerse medidas para mejorar esta característica.
- ❖ Si la presente investigación, mezclas en frío con adición de asfíes 211 y 240, llega a ser utilizada se recomienda tomar en cuenta los porcentajes exactos del componente añadido a la mezcla, ya que añadir más podría aumentar la cantidad de agua y aumentar los porcentajes de vacío con lo cual la resistencia en condiciones críticas no sería favorable, además se debe tener control y seguimiento en el comportamiento de las obras de pavimentación para poder tomar decisiones adecuadas de mejora.
- ❖ Se recomienda utilizar materiales y emulsiones que cumplan los requisitos especificados en normas, además de realizar estudios al tipo de asfíes que se vaya a emplear para evitar reacciones químicas no beneficiosas para la mezcla.

Bibliografía

- LARA Lauro, Manual visualizado de ensayos para materiales de construcción, Universidad Católica del Ecuador, Quito, 1980.
- MOP, Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes, MOP-001-F-2002, Tomos I y II.
- ASPHALT INSTITUTE, Manual básico de emulsiones asfálticas, 19, USA, 2005.
- YANEZ Gustavo, Manual visual, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador.
- MONTEJO Fonseca, A. (1998). *Ingeniería de pavimentos para carreteras. 2nd ed.* Santa fé de Bogotá: Universidad Católica de Colombia, pp.422-463.
- GONZÁLEZ Escobar, w., Jiménez Angulo, m. y López Cornejo, r. (2007). *Guía básica para el uso de emulsiones asfálticas en la estabilización de bases en caminos de baja intensidad en el salvador*". Ingeniería. Universidad de El Salvador, facultad de Ingeniería y Arquitectura, escuela de ingeniería civil.
- Cajas Ramirez, V. y Iglesias Ramirez, A. (2017). *utilización de escorias siderúrgicas para el mejoramiento de mezclas en frío*. Ingeniería. Pontifica Universidad Católica Del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Escuela de civil.

Anexos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO FINO)

PROYECTO: Tesis de grado

ENSAYADO: Reinoso - Quirola

NORMA ENSAYO: ASTM C 136

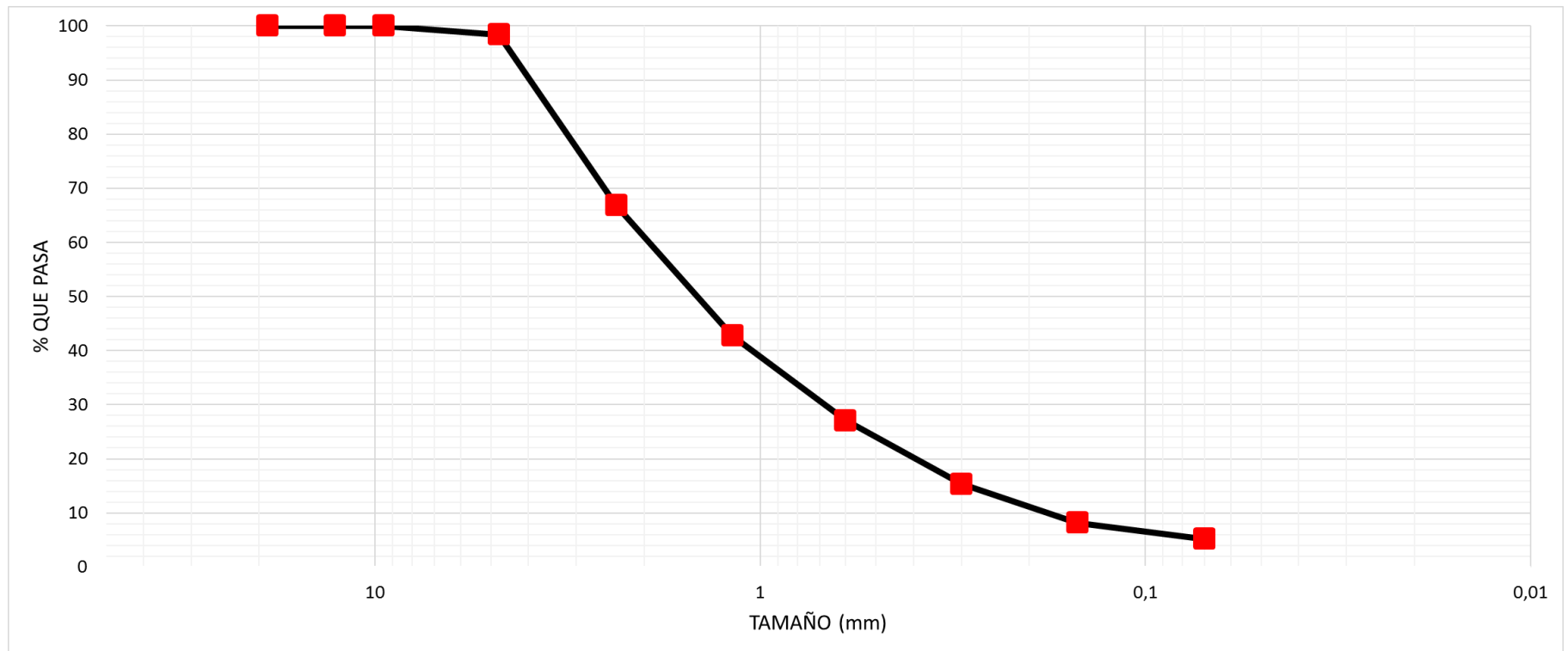
FECHA: 13/02/2017

CANTERA: Pifo

DESCRIPCIÓN: Granulometría del agregado fino

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RENETIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/4"	19	0	0	0	100
1/2"	12,7	0	0	0	100
3/8"	9,51	0	0	0	100
No. 4	4,76	8,4	8,4	1,63	98,37
No. 8	2,36	162,5	170,9	33,15	66,85
No. 16	1,18	124,4	295,3	57,27	42,73
No. 30	0,6	80,5	375,8	72,89	27,11
No. 50	0,3	60,5	436,3	84,62	15,38
No. 100	0,15	37,2	473,5	91,83	8,17
No. 200	0,07	15,3	488,8	94,80	5,20
Pasa No. 200		26,8	26,8		
Suma		515,6	515,6		

CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO FINO



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO GRUESO)

PROYECTO: Tesis de grado

ENSAYADO: Reinoso - Quirola

NORMA ENSAYO: ASTM C 136

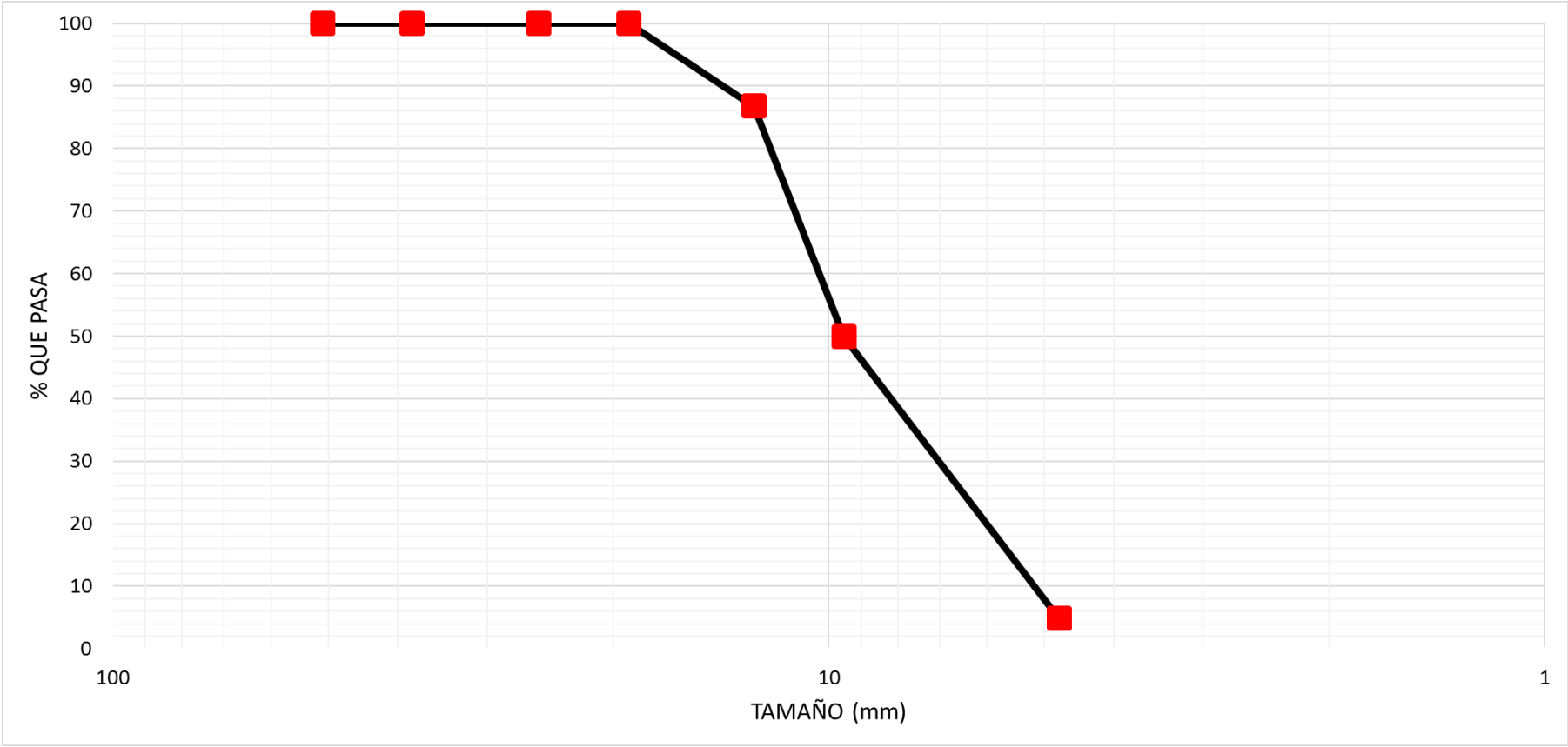
FECHA: 13/02/2017

CANTERA: Pifo

DESCRIPCIÓN: Granulometría del agregado grueso.

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RENETIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
2"	50,8	0	0	0	100
1 1/2"	38,1	0	0	0,00	100,00
1"	25,4	0	0	0,00	100,00
3/4"	19	0	0	0,00	100,00
1/2"	12,7	401,6	401,6	13,29	86,71
3/8"	9,51	1114,2	1515,8	50,18	49,82
No. 4	4,76	1361,2	2877	95,23	4,77
Pasa No. 4		144	144		
Suma		3021	3021		

CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO GRUESO 1/2



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO MEDIO)

PROYECTO: Tesis de grado

NORMA ENSAYO: ASTM C 136

CANTERA: Pifo

DESCRIPCIÓN: Granulometría del agregado medio.

ENSAYADO: Reinoso - Quirola

FECHA: 13/02/2017

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RENETIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
2"	50,8	0	0	0	100
1 1/2"	38,1	0	0	0,00	100,00
1"	25,4	0	0	0,00	100,00
3/4"	19	0	0	0,00	100,00
1/2"	12,7	4,7	4,7	0,21	99,79
3/8"	9,51	205,05	209,75	9,49	90,51
No. 4	4,76	1809,3	2019,05	91,31	8,69
Pasa No. 200		192,1	192,1		
Suma		2211,15	2211,15		

CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO MEDIO 3/8



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA

PROYECTO: Tesis de grado

ENSAYADO: Reinoso - Quirola

NORMA ENSAYO: AASHTO T 209-08

CANTERA: Pifo

DESCRIPCIÓN: Gravedad específica máxima teórica de la mezcla con emulsión óptima 10%

Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	O 3
Tipo de mezcla	N/D
Número de muestras	1
Tipo de contenedor	metálico
Tipo de procedimiento	en aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	1087,1
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413,4
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8058,2
Procedimiento suplementario	SI

Registros del procedimiento suplementario:

Masa de la bandeja, g	560,6
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	1710,2

Ciclo	Masa, g	Diferencia, %
1	1703,0	0,42
2	1658,8	2,60
3	1655,6	0,19
4	1653,8	0,11
5	1652,4	0,08
6	1651,0	0,08
7	1650,2	0,05
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		

superficie seca

Masa de la muestra con superficie seca (A), g	1089,6
---	--------

Gravedad específica máxima teórica (Gmm)	2,444
--	-------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA

PROYECTO: Tesis de grado

ENSAYADO: Reinoso - Quirola

NORMA ENSAYO: AASHTO T 209-08

CANTERA: Piño

DESCRIPCIÓN: Gravedad específica máxima teórica de la mezcla 2II óptima 4%

Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	O 3
Tipo de mezcla	N/D
Número de muestras	1
Tipo de contenedor	metálico
Tipo de procedimiento	en aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	1138,0
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413,4
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8052,5
Procedimiento suplementario	SI

Registros del procedimiento suplementario:

Masa de la bandeja, g	561,4
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	1782,1

Ciclo	Masa, g	Diferencia, %
1	1761,2	1,17
2	1742,1	1,08
3	1732,1	0,57
4	1721,1	0,64
5	1712,6	0,49
6	1708,5	0,24
7	1705,2	0,19
8	1703,9	0,08
9	1702,9	0,06
10	1702,3	0,04
11		
12		
13		
14		

superficie seca

Masa de la muestra con superficie seca (A), g	1140,9
---	--------

Gravedad específica máxima teórica (Gmm)	2,268
---	--------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA

PROYECTO: Tesis de grado

ENSAYADO: Reinoso - Quirola

NORMA ENSAYO: AASHTO T 209-08

CANTERA: Pifo

DESCRIPCIÓN: Gravedad específica máxima teórica de la mezcla 240 óptima 5%

Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	O 3
Tipo de mezcla	N/D
Número de muestras	1
Tipo de contenedor	metálico
Tipo de procedimiento	en aire

Registros de la muestra:

Masa de muestra seca en aire (A), g	1104,1
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413,4
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8074,3
Procedimiento suplementario	SI

Registros del procedimiento suplementario:

Masa de la bandeja, g	571,7
Masa de bandeja y muestra húmeda, g	1769,3

Ciclo	Masa, g	Diferencia, %
1	1745,5	1,35
2	1724,6	1,20
3	1711,9	0,74
4	1700,6	0,66
5	1694,1	0,38
6	1687,7	0,38
7	1679,7	0,47
8	1677,4	0,14
9	1675,9	0,09
10	1674,9	0,06
11		
12		
13		
14		

Masa de la muestra con superficie seca (A), g	1103,2
---	--------

Gravedad específica máxima teórica (Gmm)	2,496
---	--------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

GRAVEDAD ESPECÍFICA

PROYECTO: Tesis de grado

ENSAYADO: Reinoso - Quirola

NORMA ENSAYO: ASTM C 127

CANTERA: Pífo

DESCRIPCIÓN: Gravedad específica de la mezcla óptima de emulsión 10%

Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	10%
Temperatura del agua, °C	25,0
Tipo de mezcla	densa
Altura promedio, mm	71,26
Diámetro promedio, mm	102,40

Resultados del ensayo:

Masa seca en aire (A), g	1098,57
Masa en agua (C), g	550,40
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	1103,62
Gravedad específica Bulk a 25 °C	1,986
Densidad a 25 °C, kg/m³	1980
Porcentaje de agua absorbida por volumen, %	0,91

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

GRAVEDAD ESPECÍFICA

PROYECTO: Tesis de grado

ENSAYADO: Reinoso - Quirola

NORMA ENSAYO: ASTM C 127

CANTERA: Pífo

DESCRIPCIÓN: Gravedad específica de la mezcla óptima con asfier 211, 4%

Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	4%
Temperatura del agua, °C	25,0
Tipo de mezcla	densa
Altura promedio, mm	71,26
Diámetro promedio, mm	102,40

Resultados del ensayo:

Masa seca en aire (A), g	1146,76
Masa en agua (C), g	583,74
Masa saturada con superficie seca en aire (B), g	1159,04
Gravedad específica Bulk a 25 °C	1,993
Densidad a 25 °C, kg/m³	1987
Porcentaje de agua absorbida por volumen, %	2,13

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

GRAVEDAD ESPECÍFICA

PROYECTO: Tesis de grado
NORMA ENSAYO: ASTM C 127
CANTERA: Pifo
DESCRIPCIÓN:

ENSAYADO: Reinoso - Quirola

Gravedad específica de la mezcla óptima con asfier 240, 5%

Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	5%
Temperatura del agua, °C	25,0
Tipo de mezcla	densa
Altura promedio, mm	71,26
Diámetro promedio, mm	102,40

Resultados del ensayo:

Masa seca en aire (A), g

1135,28

Masa en agua (C), g

600,53

Masa saturada con superficie seca en aire (B), g

1153,10

Gravedad específica Bulk a 25 °C

2,055

Densidad a 25 °C, kg/m³

2048

Porcentaje de agua absorbida por volumen, %

3,22

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

CONTENIDO ORGÁNICO DE LA ARENA

PROYECTO: Tesis de grado

ENSAYADO: Reinoso - Quirola

NORMA ENSAYO: ASTM C 127

CANTERA: Pifo

DESCRIPCIÓN: Contenido orgánico de la arena

CONTENIDO ORGÁNICO ACEPTABLE

SI

X

NO

VALOR EN LA ESCALA

Nº

2

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
EQUIVALENTE DE ARENA

PROYECTO: Tesis de grado
NORMA ENSAYO: ASTM C 127
CANTERA: Pifo
DESCRIPCIÓN: Equivalente de arena

ENSAYADO: Reinoso - Quirola

$$C = (B / A) * 100$$

		Muestra I
A	LECTURA INICIAL (plg)	3,65
B	LECTURA FINAL (plg)	3,6
C	EQUIVALENTE DE ARENA (%)	98,63

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
ABRASION AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de grado	ENSAYADO:	Reinoso - Quirola
NORMA ENSAYO:	ASTM C131		
CANTERA:	Pifo		
DESCRIPCIÓN:	Abrasion agregado grueso		

$$\text{Porcentaje de desgaste} = (C / A) * 100$$

$$\text{Masa que pasa el tamiz No. 12} = (A - B)$$

TIPO DE GRADACION: B

MASA INICIAL DE LA MUESTRA	A=	5501
MASA RETENIDA EN EL TAMIZ No. 12 DESPUES DE 500	B=	4125
MASA QUE PASA EL TAMIZ N° 12	C=	1285
PORCENTAJE DE DESGASTE	D=	23,36

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

DURABILIDAD A LA ACCIÓN DE LOS SULFATOS

PROYECTO: Tesis de grado

ENSAYADO: Reinoso - Quirol

NORMA ENSAYO: ASTM C 88

CANTERA: Pifo

DESCRIPCIÓN: Durabilidad del agregado fino a la acción de los sulfatos

%RETENIDO

N° DEL TAMIZ		%RETENIDO PARCIAL DEL AREGADO	MASA DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO	MASA DE LAS FRACCIONES DESPUES DEL ENSAYO	%QUE PASA DESPUES DEL ENSAYO	%DE DESGASTE PARCIAL
PASA	RETIENE					
	N°4	1,63	145,78	132,56	9,07	0,15
N°4	N°8	31,51	143,30	127,67	10,91	3,44
N°8	N°16	57,27	143,78	129,55	9,90	5,67
N°16	N°30	24,05	118,42	105,97	10,51	2,53
N°30	N°50	15,61	153,68	140,35	8,67	1,35
	PORCENTAJE TOTAL DE DESGASTE					13,14

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

DURABILIDAD A LA ACCIÓN DE LOS SULFATOS

PROYECTO: Tesis de grado

ENSAYADO: Reinoso - Quirol

NORMA ENSAYO: ASTM C 88

CANTERA: Pifo

DESCRIPCIÓN: Durabilidad del agregado grueso a la acción de los sulfatos

%RETENIDO

N° DEL TAMIZ		%RETENIDO PARCIAL DEL AREGADO	MASA DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO	MASA DE LAS FRACCIONES DESPUES DEL ENSAYO	%QUE PASA DESPUES DEL ENSAYO	%DE DESGASTE PARCIAL
PASA	RETIENE					
	1/2"	13,29	338,97	334,35	1,36	0,18
1/2"	3/8"	36,89	368,46	351,76	4,53	1,67
3/8"	N°4	45,05	331,67	324,56	2,14	0,97
	PORCENTAJE TOTAL DE DESGASTE					2,82

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

CARGA DE LA PARTÍCULA

PROYECTO: Tesis de grado

ENSAYADO: Reinoso - Quirola

NORMA ENSAYO: ASTM D 244

CANTERA: Pifo

DESCRIPCIÓN: Ensayo carga de la partícula

Tipo de carga: Muestra 1

Cátodo

TIPO DE CARGA POSITIVO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DEL TAMIZ #20

PROYECTO: Tesis de grado
NORMA ENSAYO: ASTM D 244 - 38
CANTERA: Pifo
DESCRIPCIÓN: Ensayo tamiz #20

ENSAYADO: Reinoso - Quirola

Ensayo #	Peso tamiz + bandeja "a"	Peso del tamiz + bandeja (después) "b"	Ensayo Tamiz #20 "c = b-a"	Ensayo del Tamiz # 20 (%) "d = c/10"
1	852.06	851.93	0.13	0,013
		TOTAL =	0,77	0,013

PROMEDIO RETENIDO MALLA # 20= 0,013

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

VISCOSIDAD DE LA EMULSIÓN

PROYECTO: Tesis de grado
NORMA ENSAYO: ASTM D 244 - 22
CANTERA: Pifo
DESCRIPCIÓN: Viscosidad de la emulsión

ENSAYADO: Reinoso - Quirola

$$C = (\text{PROMEDIO } A+B)$$

a un $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Lectura 1	A=	21,32	Segundos
Lectura 2	B=	23,62	Segundos
VISCOSIDAD DE LA EMULSIÓN	C=	22,47	Centipoises

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

ESTABILIDAD A LAS 24 HORAS

PROYECTO:	Tesis de grado	ENSAYADO:	Reinoso - Quirola
NORMA ENSAYO:	ASTM D 244 - 29		
EMULSIÓN	Chova Ecuador		
DESCRIPCIÓN:	Estabilidad a las 24 horas		

% de Asentamiento= B-A

	Muestra I	Muestra 2
	60.64%	60.58
Residuo en la parte de arriba (%) A		
Residuo en la parte de abajo (%) B	60.94%	60.86
ESTABILIDAD A LAS 24 HORAS % ASENTAMIENTO	0,3%	0.28%
PROMEDIO ESTABILIDAD % ASENTAMIENTO	0,29%	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

ESTABILIDAD A LAS 24 HORAS

PROYECTO:	Tesis de grado	ENSAYADO:	Reinoso - Quirola
NORMA ENSAYO:	ASTM D 244 - 29		
EMULSIÓN	Chova Ecuador		
DESCRIPCIÓN:	Estabilidad a las 24 horas		

% de Asentamiento = $B - A$

	Muestra 1	Muestra 2
Residuo en la parte de arriba (%) A	60.34%	60.46
Residuo en la parte de abajo (%) B	59.87%	59.92
ESTABILIDAD A LAS 24 HORAS % ASENTAMIENTO	0,47%	0. 54%
PROMEDIO ESTABILIDAD % ASENTAMIENTO	0,51%	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

RESIDUO POR EVAPORACIÓN

PROYECTO: Tesis de grado

ENSAYADO: Reinoso - Quirola

NORMA ENSAYO: ASTM D 244 - 29

EMULSIÓN Chova Ecuador

DESCRIPCIÓN:

Residuo por evaporación		Peso del Recipiente + emulsión (antes)	Peso del Recipien. + Emulsión(después) "B"	Residuo
Ensayo	Peso del recipiente "A"			
#				
1	431.64	481.64	461.94	60.6
2	435.75	485.75	466.8	60.66
3	427.36	477.36	457.62	60.6
			PROMEDIO =	60.62

$$\text{Residuo (\%)} = 2 (A - B)$$

donde:

A = peso del recipiente + residuo

B = peso del recipiente

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

DUCTILIDAD DEL RESIDUO

PROYECTO:	Tesis de grado	ENSAYADO:	Reinoso - Quirola
NORMA ENSAYO:	ASTM D 113		
EMULSIÓN	Chova Ecuador		
DESCRIPCIÓN:	Ductilidad del residuo		

Muestra	Alargamiento (cm)
1	6
2	62
Promedio	61

DUCTILIDAD DEL RESIDUO= 61

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

PENETRACIÓN DEL RESIDUO

PROYECTO: Tesis de grado
NORMA ENSAYO: ASTM D 15
EMULSIÓN Chova Ecuador
DESCRIPCIÓN: Penetración del residuo

ENSAYADO: Reinoso - Quirola

Punto #	Penetración
1	42
2	47
3	46
4	45
5	48
Promedio	45.60

PENETRACIÓN DEL RESIDUO 45,60



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
AREA DE PAVIMENTOS

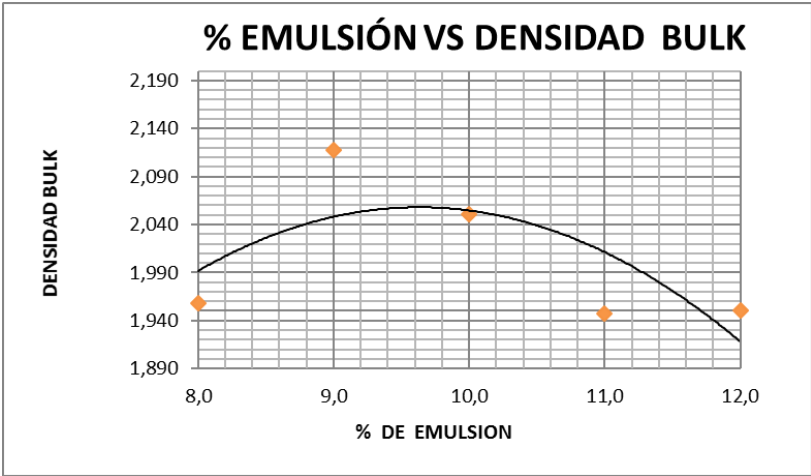
Av. 12 de Octubre y Veintimilla E-mail gyanez@puce.edu.ec Telf: 2903798 : 2991700 EXT:1236

OBRA: Tesis de grado
CANTERA: Pifo
DESCRIPCIÓN: Mezcla con 5 diferentes porcentajes de emulsión asfáltica

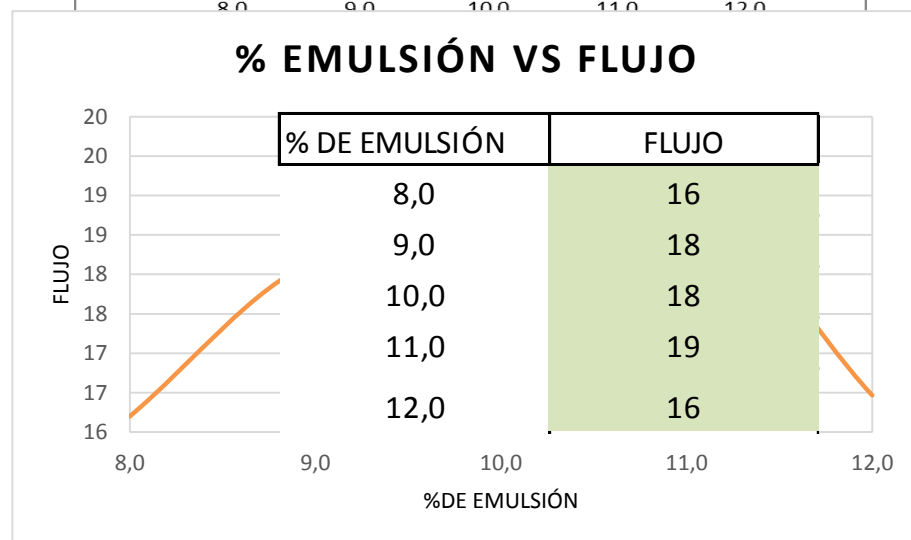
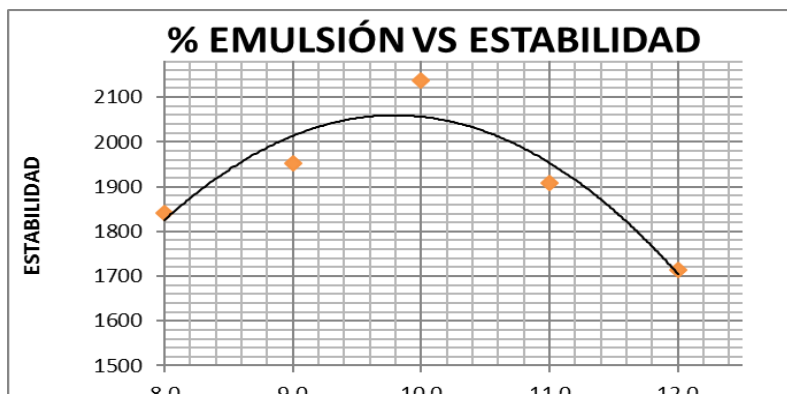
SOLICITA Reinoso - Quirola
FECHA: 6 de Julio 2017

Briqueta	%	PESO (gramos)				BULK	ESTABILIDAD (Kg)			Flujo
		Seca Aire	sss	En Agua	Volumen		Medida	F.C.	Corregida	
	EMULSION	d		f	V		q	e	s	
					e-f	d/v				1/100"
8.1		1135,88	1139,13	559,12	580,01	1,958	2100	0,83	1743	15,5
8.2	8,0	1115,93	1122,54	554,94	567,60	1,966	2150	0,86	1849	14,5
8.3		1097,47	1101,64	538,51	563,13	1,949	2250	0,86	1935	18,6
PROM						1,958			1842	16
9.1		1145,24	1034,69	568,37	466,32	2,456	1950	1,19	2321	19
9.2	9,0	1141,05	1145,93	558,87	587,06	1,944	2050	0,81	1661	20
9.3		1135,73	1140,82	559,34	581,48	1,953	2260	0,83	1876	15,5
PROM						2,118			1952	18
10.1		1087,26	1092,06	540,15	551,91	1,970	2600	0,89	2314	19,5
10.2	10,0	1091,63	1049,87	544,89	504,98	2,162	2500	1,04	2600	18
10.3		1116,83	1118,93	566,17	552,76	2,020	1680	0,89	1495	16,6
PROM						2,051			2136	18
11.1		1138,98	1152,02	570,74	581,28	1,959	2600	0,83	2158	20
11.2	11,0	1151,88	1165,72	571,10	594,62	1,937	2225	0,81	1802	20
11.3		1126,92	1132,02	552,41	579,61	1,944	2125	0,83	1764	17
PROM						1,947			1908	19
12.1		1148,00	1153,73	563,61	590,12	1,945	2050	0,81	1661	18,5
12.2	12	1168,40	1174,46	581,55	592,91	1,971	2300	0,81	1863	15,1
12.3		1135,26	1138,05	551,94	586,11	1,937	2000	0,81	1620	15,8
PROM						1,951			1715	16

Gráficos de Diseño



% DE EMULSIÓN	BULK
8,0	1,958
9,0	2,118
10,0	2,051
11,0	1,947
12,0	1,951



	% DE EMULSIÓN
BULK	9,6
ESTABILIDAD	9,4
FLUJO	10,5
PROM :	9,83
% RESIDUO	69,1%



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
AREA DE PAVIMENTOS

Av. 12 de Octubre y Veintimilla E-mail gyanez@puce.edu.ec Telf: 2903798 : 2991700 EXT:1236

OBRA:	Tesis de grado	SOLICITA	Reinoso - Quirola
CANtera:	Pifo		
DESCRIPCIÓN:	Ensayo Marshall de la mezcla con el porcentaje óptimo de emulsión.	FECHA:	23 de Septiembre 2017

Briqueta	%	PESO (gramos)				BULK	ESTABILIDAD (Kg)			Flujo
		Seca Aire	sss	En Agua	Volumen		Medida	F.C.	Corregida	
	EMULSION	d		f	V		q	e	s	t
					e-f	d/v				1/100"
Briquetas ensayadas en seco										
1		1074,66	1099,99	555,76	544,23	1,975	1800	0,93	1674	16,8
2	10,0	1146,86	1161,31	577,00	584,31	1,963	2500	0,83	2075	19
3		1128,92	1142,24	568,92	573,32	1,969	2600	0,86	2236	19,7
PROM						1,969			1995	19
Briquetas ensayadas en agua										
4		1257,15	1272,00	641,45	630,55	1,994	1550	0,76	1178	16,5
5	10,0	1122,30	1136,05	552,47	583,58	1,923	1500	0,83	1245	16,6
6		1166,98	1179,28	587,85	591,43	1,973	1450	0,81	1175	17
PROM						1,963			1199	17



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
AREA DE PAVIMENTOS

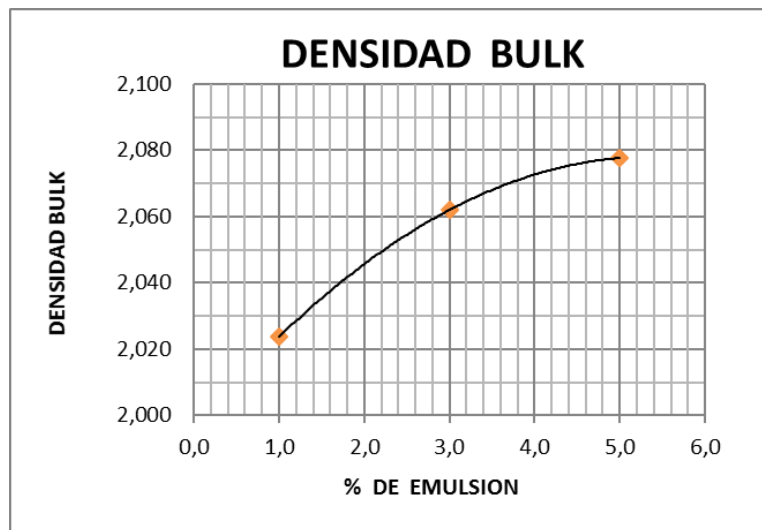
Av. 12 de Octubre y Veintimilla E-mail gyanez@puce.edu.ec Telf: 2903798 : 2991700 EXT:1236

OBRA: Tesis de grado
CANTERA: Pifo

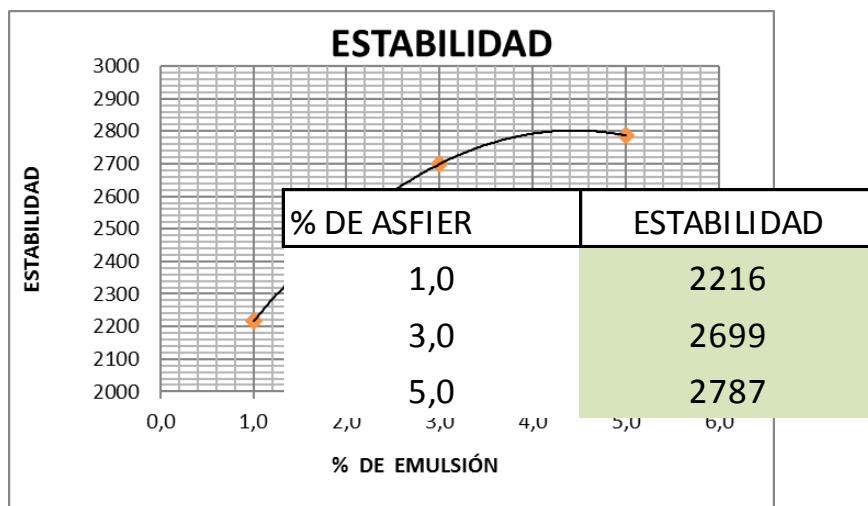
SOLICITA: Reinoso - Quirola

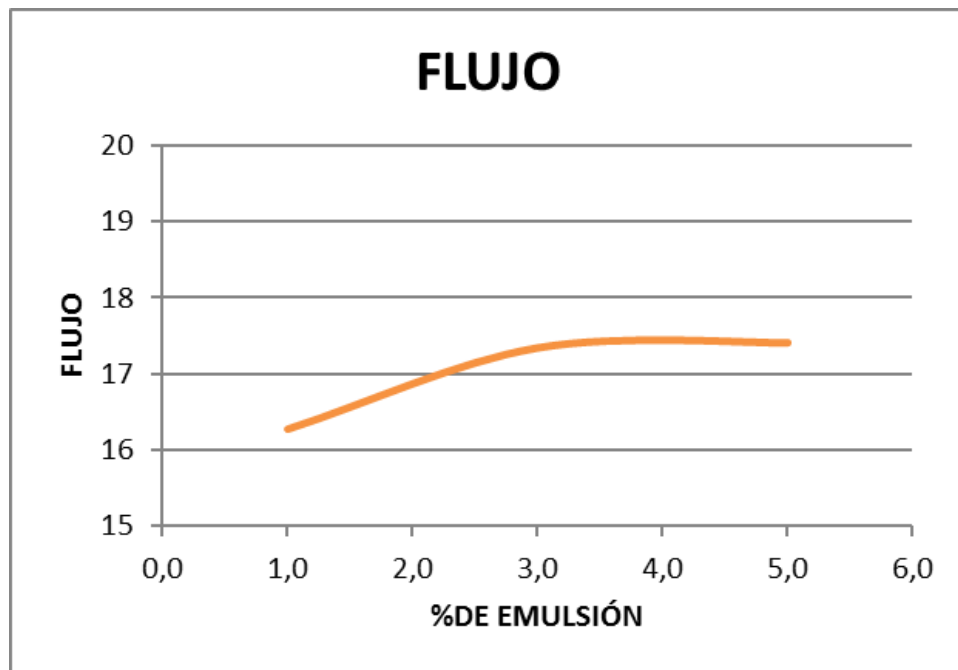
DESCRIPCIÓN: Ensayo Marshall de la mezcla con 1%, 3% y 5% de asfier 211

Briqueta	%	PESO (gramos)				BULK	ESTABILIDAD (Kg)			Flujo
		Seca Aire	sss	En Agua	Volumen		Medida	F.C.	Corregida	
	ASFIER	d		f	V		q	e	s	t
					e-f	d/v				1/100"
1	1%	1169,26	1178,00	604,21	573,79	2,038	2675	0,86	2301	15,5
2		1150,57	1160,94	588,89	572,05	2,011	2450	0,86	2107	16
3		1162,12	1170,09	595,32	574,77	2,022	2700	0,83	2241	17,3
PROM						2,024			2216	16
1	3%	1092,13	1095,95	566,87	529,08	2,064	2750	0,96	2640	15
2		1173,71	1179,05	604,78	574,27	2,044	3000	0,83	2490	17,5
3		1181,55	1185,53	616,91	568,62	2,078	3450	0,86	2967	19,5
PROM						2,062			2699	17
1	5%	1119,31	1123,97	583,16	540,81	2,070	3200	0,93	2976	16,7
2		1146,4	1150,46	597,73	552,73	2,074	3250	0,89	2893	17
3		1164,2	1168,57	611,32	557,25	2,089	2800	0,89	2492	18,5
PROM						2,078			2787	17



% DE ASFIER	BULK
1,0	2,024
3,0	2,062
5,0	2,078





% DE EMULSIÓN	FLUJO
1,0	16
3,0	17
5,0	17

	% DE ASFIER
BULK	5
ESTABILIDAD	4
FLUJO	3
PROM :	4,00



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
AREA DE PAVIMENTOS

Av. 12 de Octubre y Veintimilla E-mail gyanez@puce.edu.ec Telf: 2903798 : 2991700 EXT:1236

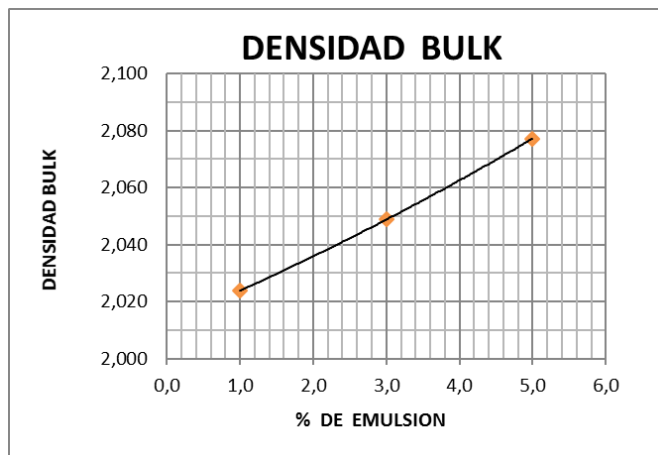
OBRA: Tesis de grado

SOLICITA: Reinoso - Quirola

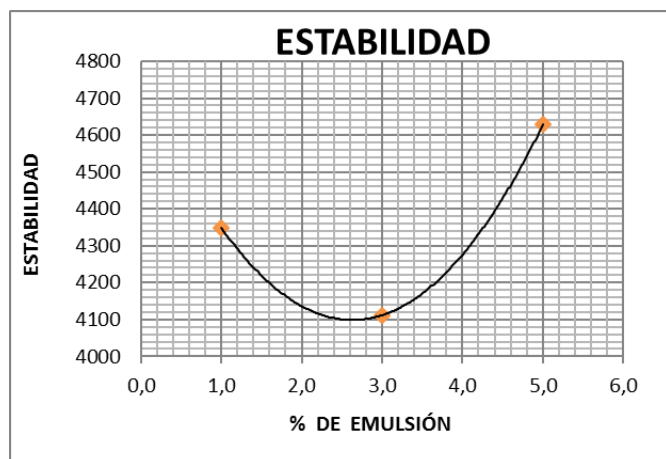
CANtera: Pifo

DESCRIPCIÓN: Ensayo Marshall de la mezcla con 1%, 3% y 5% de asfíer 240

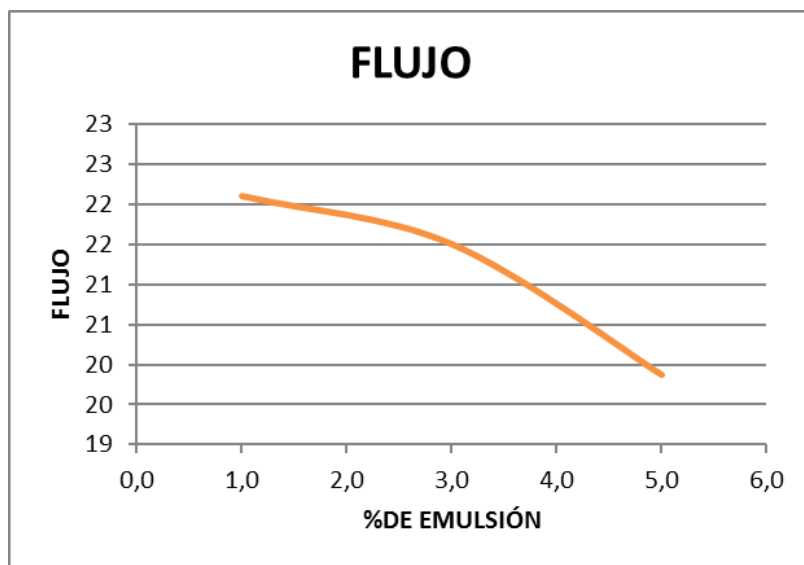
Briqueta	%	PESO (gramos)				BULK	ESTABILIDAD (Kg)			Flujo
		Seca Aire	sss	En Agua	Volumen		Medida	F.C.	Corregida	
	ASFIER	d		f	V		q	e	s	t
					e-f	d/v				1/100"
1	1%	1149,54	1158,39	590,40	567,99	2,024	5340	0,86	4592	18,5
2		1128,21	1136,89	579,44	557,45	2,024	4800	0,89	4272	25,8
3		1150,43	1159,29	590,86	568,43	2,024	4700	0,89	4183	22
PROM						2,024			4349	22
1	3%	1155,87	1160,03	595,85	564,18	2,049	4560	0,89	4058	24,2
2		1145,81	1149,93	590,67	559,26	2,049	4700	0,89	4183	17,5
3		1147,24	1151,34	591,40	559,94	2,049	4600	0,89	4094	22,8
PROM						2,049			4112	22
1	5%	1155,68	1160,07	603,73	556,34	2,077	4800	0,86	4128	22,5
2		1138,01	1142,33	594,49	547,84	2,077	4250	0,89	3783	22,7
3		1143,04	1147,38	597,12	550,26	2,077	6950	0,86	5977	14,4
PROM						2,077			4629	20



% DE ASFIER	BULK
1,0	2,024
3,0	2,049
5,0	2,077



% DE ASFIER	ESTABILIDAD
1,0	4349
3,0	4112
5,0	4629



% DE EMULSIÓN	FLUJO
1,0	22
3,0	22
5,0	20

	% DE ASFIER
BULK	5
ESTABILIDAD	5
FLUJO	5
PROM :	5,00

